



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA
ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA
DE MINAS Y ENERGÍA
Trabajo Fin de Grado



AUDITORÍA ENERGÉTICA DE UNA EMPRESA INDUSTRIAL

Energy audit of an industrial company

Para acceder al título de:
**Grado en Ingeniería de
los Recursos Energéticos**

Autor: Noelia Pernía López
Directores: Inmaculada Fernández Diego
Carlos Liaño Fernández
Convocatoria: junio 2019

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. OBJETO Y ALCANCE.	12
2.1. OBJETO.....	12
2.2. ALCANCE.....	12
3. NECESIDAD DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA.	14
3.1. DEFINICIÓN DE AUDITORÍA ENERGÉTICA.	14
3.2. CONSUMO ENERGÉTICO.	14
3.2.1. Consumo energético a nivel mundial.	15
3.2.2. Consumo energético a nivel nacional.	16
3.2.3. Consumo energético en el sector industrial.	18
4. ESTADO DEL ARTE.	19
4.1. ANÁLISIS TEÓRICO.	19
4.1.1. Ámbito de aplicación, alcance de la exigencia y criterios mínimos a cumplir por las auditorías energéticas: ¿Quiénes están obligados a realizar una auditoría energética y cuáles son los criterios que deben cumplir?	20
4.1.2. Auditores energéticos: ¿Quiénes pueden realizar una auditoría energética?	21
4.1.3. Inspección de la realización de las auditorías energéticas. ¿Qué es y en qué consiste?	21
4.1.4. Registro Administrativo de Auditorías Energéticas.	21
4.2. ANÁLISIS CIENTÍFICO.	22
4.2.1. Eficiencia energética (Energy efficiency).	22
4.2.2. Auditoría energética (Energy Audit).	23
4.2.3. Auditoría energética de una empresa industrial (Energy audit of an industrial company).	24
4.2.4. Análisis de los resultados de búsqueda.	24
5. METODOLOGÍA.....	26
5.1. PROCESO DE LA REALIZACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA.	26
5.1.1. Planificación.	27
5.1.2. Toma de datos.	27
5.1.3. Análisis de datos.	27
5.1.4. Propuestas de mejoras.	27
5.1.5. Informe de auditoría energética.	28
5.2. MATERIAL NECESARIO.....	28
5.2.1. Analizador de redes.	28
5.2.2. Luxómetro.	29

5.2.3. Cámara termográfica.....	30
5.2.4. Material utilizado en el caso práctico.....	31
6. CASO PRÁCTICO.....	35
6.1. INTRODUCCIÓN.....	35
6.1.1. Presentación de la empresa.....	35
6.1.2. Objetivos.....	35
6.1.3. Alcance.....	36
6.1.4. Metodología de trabajo.....	36
6.2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	36
6.3. ANÁLISIS DE LA FACTURACIÓN ENERGÉTICA.....	38
6.3.1. Tipos de suministros.....	38
6.3.2. Suministro en “Fundición, S.A.”.....	38
6.3.3. Término de facturación de potencia.....	39
6.3.4. Término de facturación de energía.....	49
6.3.5. Consumo del año 2018 de “Fundición, S.A”.....	51
6.3.6. Propuesta de mejora: Optimización de potencia.....	53
6.3.7. Consumo de energía reactiva.....	57
6.3.8. Propuesta de mejora: Ajuste por batería de condensadores.....	60
6.4. REPARTO DE CONSUMO ENERGÉTICO EN PLANTA.....	61
6.5. HORNOS DE FUSIÓN.....	63
6.5.1. Funcionamiento del horno 1.....	65
6.5.2. Funcionamiento de los hornos 2 y 3.....	68
6.5.3. Propuesta de mejora: Funcionamiento de los hornos en periodo 6.....	70
6.6. LINEA BASE ENERGÉTICA DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	72
6.7. ANÁLISIS DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA EMPRESA.....	78
6.7.1. Evaluación de las pérdidas en los transformadores.....	81
6.7.2. Factor de potencia de la instalación.....	86
6.7.3. Equilibrado de fases.....	90
6.7.4. Armónicos.....	90
6.8. REFRIGERACIÓN DE LOS HORNOS DE INDUCCIÓN.....	93
6.8.1. Propuesta de mejora: Control de la refrigeración de los hornos por temperatura.....	101
6.8.2. Propuesta de mejora: Instalación de un variador de frecuencia para el control de las bombas de la torre de refrigeración.....	101
6.9. AIRE COMPRIMIDO.....	101
6.9.1. Generación.....	101

6.9.2. Propuesta de mejora: Ajuste de la banda de presiones.	112
6.9.3. Propuesta de mejora: Apagar los compresores por la noche.	112
6.9.4. Distribución y consumo de aire.	113
6.9.5. Propuesta de mejora: Reducción de fugas y formación sobre el uso del aire comprimido.	115
6.10. ILUMINACIÓN.	117
6.10.1. Iluminación actual.	117
6.10.2. Propuesta de mejora: Cambio a tecnología LED.	121
6.11. INSTALACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE.	124
6.12. RESUMEN DE PROPUESTAS Y LÍNEAS FUTURAS.	130
7. CONCLUSIONES.	133
8. BIBLIOGRAFÍA.	135

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1.- Consumo de energía primaria a nivel mundial. (Fuente: [4])	15
Gráfico 3-2.- Incremento del consumo energético a nivel mundial. (Fuente: [4])	15
Gráfico 3-3.- Consumo de energía a nivel nacional. (Fuente: [4])	16
Gráfico 3-4.- Incrementos del consumo energético a nivel nacional. (Fuente: [4])	16
Gráfico 3-5.- Evolución de la demanda eléctrica peninsular en los últimos 10 años (TWh). (Fuente: [5])	17
Gráfico 3-6.- Evolución de la generación eléctrica renovable y no renovable. (Fuente: [5])	17
Gráfico 3-7.- Generación anual de energía renovable peninsular. (Fuente: [5])	18
Gráfico 4-1.- Artículos científicos encontrados con “energy efficiency”. (Fuente: Elaboración propia).....	23
Gráfico 4-2.- Artículos científicos encontrados con “energy audit”. (Fuente: Elaboración propia)	23
Gráfico 4-3.- Artículos científicos encontrados con “energy audit of an industrial company”. (Fuente: Elaboración propia).....	24
Gráfico 5-1.- Proceso de la realización de una auditoría energética. (Fuente: Elaboración propia).....	26
Gráfico 6-1.- Tipos de tarifas, según potencia. (Fuente: Elaboración propia).....	40
Gráfico 6-2.- Tipos de tarifas, según potencia. (Fuente: Elaboración propia).....	40
Gráfico 6-3.- Precios del mercado eléctrico a diferentes horas del día. (Fuente: [32])	50
Gráfico 6-4.- Precio diario del mercado eléctrico. (Fuente: [33])	51
Gráfico 6-5.- Consumo medio diario- energía activa por mes en el año 2018 en “Fundición, S.A.”. (Fuente: Elaboración propia)	52
Gráfico 6-6.- Reparto por consumos mensuales de la energía activa consumida. (Fuente: Elaboración propia)	53
Gráfico 6-7.- Reparto de los porcentajes de consumo anual por periodos. (Fuente: Elaboración propia).....	53
Gráfico 6-8.- Cos ϕ mensual. (Fuente: Elaboración propia)	59
Gráfico 6-9.- Reparto del consumo energético en planta. (Fuente: Elaboración propia)	62
Gráfico 6-10.- Reparto del consumo energético en los hornos de fusión. (Fuente: Elaboración propia).....	63
Gráfico 6-11.- Consumo de potencia activa y reactiva del H1. (Fuente: Elaboración propia).....	66
Gráfico 6-12.- Horarios de funcionamiento del horno 1. (Fuente: Elaboración propia)	67
Gráfico 6-13.- Consumo de potencia activa y reactiva de H2 y H3. (Fuente: Elaboración propia)	69
Gráfico 6-14.- Línea base energética. Curvas del consumo real y del consumo previsto para la planta. (Fuente: Elaboración propia)	77
Gráfico 6-15.- Energía activa y reactiva Acometida BT servicios. (Fuente: Elaboración propia)	88

Gráfico 6-16.- Energía activa y reactiva Horno Fusión 1 (6Tn). (Fuente: Elaboración propia)	89
Gráfico 6-17.- Consumo por fases. Acometida BT Servicios. (Fuente: Elaboración propia)	90
Gráfico 6-18.- Curva de potencia activa de la acometida de servicios durante una semana. (Fuente: Elaboración propia).....	92
Gráfico 6-19.- Tasa de distorsión armónica de la acometida de servicios durante una semana. (Fuente: Elaboración propia).....	92
Gráfico 6-20.- Armónicos en la acometida de servicios. (Fuente: Elaboración propia)	93
Gráfico 6-21.- Curva de carga del sistema de refrigeración de los hornos. (Fuente: Elaboración propia).....	96
Gráfico 6-22.- Energía activa e inductiva de las bombas de los hornos. (Fuente: Elaboración propia).....	96
Gráfico 6-23.- Energía consumida por las bombas con un variador de frecuencia y sin él. (Fuente: [65])	100
Gráfico 6-24.- Esquema de la generación de aire comprimido en la planta. (Fuente: Elaboración propia).....	104
Gráfico 6-25.- Curva de carga de los compresores durante 2 semanas.....	109
Gráfico 6-26.- Curva de carga de los compresores durante 24 horas.....	110
Gráfico 6-27.- Curva de carga nocturna de los compresores.....	111
Gráfico 6-28.- Potencia instalada por tipologías en la iluminación interior. (Fuente: Elaboración propia).....	118
Gráfico 6-29.- Potencia instalada por tipologías por tipologías en la iluminación exterior. (Fuente: Elaboración propia).....	119
Gráfico 6-30.- Irradiación solar global sobre el plano horizontal en la zona de la planta. (Fuente: [91]).....	126
Gráfico 6-31.- % de irradiación anual recibida según la orientación e inclinación de los paneles. (Fuente: [93])	127

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 5-1.- Analizador de redes midiendo en una instalación real. (Fuente: [15])	29
Cuadro 5-2.- Luxómetro. (Fuente: [16])	30
Cuadro 5-3.- Termografía de una tubería frente a la foto original. (Fuente: [17])	30
Cuadro 5-4.- Analizador de redes CIRCUTOR AR6. (Fuente: [18])	31
Cuadro 5-5.- Analizador de redes AR5L. (Fuente: [18])	31
Cuadro 5-6.- Analizador de redes eléctricas CIRCUTOR MYeBOX. (Fuente: [18])	32
Cuadro 5-7.- Analizador de redes eléctricas CIRCUTOR CRe+. (Fuente: [18]).....	32
Cuadro 5-8.- Registrados de datos Onset serie U11-001. (Fuente: [19])	32
Cuadro 5-9.- Sensor de interruptor de corriente Onset serie CSV-A8. (Fuente: [19])	33
Cuadro 5-10.- Software PowerVision. (Fuente: [18]).....	33

Cuadro 5-11.- Software HOBOWare. (Fuente: [19]).....	33
Cuadro 5-12.- Cámara termográfica FLIR E6. (Fuente: [20]).....	34
Cuadro 6-1.- Croquis de las distintas zonas de la empresa. (Fuente: Elaboración propia)	37
Cuadro 6-2.- Empresas distribuidoras de electricidad en España en 2014. (Fuente: [28])	47
Cuadro 6-3.- Triángulo de potencias. (Fuente: Elaboración propia)	58
Cuadro 6-4.- Diagrama del principio de compensación. (Fuente: [40])	60
Cuadro 6-5.- Horno de fusión por inducción. (Fuente: [42])	64
Cuadro 6-6.- Principio de funcionamiento de un transformador monofásico ideal. (Fuente: [45])	78
Cuadro 6-7.- Transformador trifásico con tres transformadores monofásicos. (Fuente: [46])...	79
Cuadro 6-8.- Batería de condensadores. (Fuente: [48])	80
Cuadro 6-9.- Esquema de conexión de la batería de condensadores. (Fuente: Elaboración propia).....	80
Cuadro 6-10.- Termografía del trafo 1. (Fuente: Elaboración propia)	83
Cuadro 6-11.- Termografía del trafo 2. (Fuente: Elaboración propia)	83
Cuadro 6-12.- Termografía del trafo 3. (Fuente: Elaboración propia)	84
Cuadro 6-13.- Esquema de una torre de refrigeración evaporativa. (Fuente: [58])	94
Cuadro 6-14.- Torre de refrigeración evaporativa. (Fuente: [59])	94
Cuadro 6-15.- Electrobomba PEDROLLO F65/160A. (Fuente: [60])	95
Cuadro 6-16.- Motor CEMER IE1 EGG 160M2. (Fuente: [61])	95
Cuadro 6-17.- Termografía del colector a media mañana. (Fuente: Elaboración propia)	97
Cuadro 6-18.- Termografía de la torre de refrigeración a media mañana. (Fuente: Elaboración propia).....	98
Cuadro 6-19.- Variador de frecuencia. (Fuente: [63])	98
Cuadro 6-20.- Compresores Atlas Copco. (Fuente: [72])	103
Cuadro 6-21.- Depósito de aire comprimido de alta presión Atlas Copco. (Fuente: [74])	104
Cuadro 6-22.- Termografía de la entrada de aire del compresor. (Fuente: Elaboración propia)	108
Cuadro 6-23.- Termografía de una fuga de aire comprimido en una máquina. (Fuente: Elaboración propia)	113
Cuadro 6-24.- Detector ultrasónico de fugas. (Fuente: [81])	116
Cuadro 6-25.- Campana HM 400W. (Fuente: [83])	119
Cuadro 6-26.- Pantalla 2x58W BEM. (Fuente: [84])	120
Cuadro 6-27.- Luminaria vial VSAP 250W. (Fuente: [86])	120
Cuadro 6-28.- Campana LED 150W y pantalla LED 25W. (Fuente: [88])	123
Cuadro 6-29.- Proyector y luminaria vial LED de 80W. (Fuente: [88])	123
Cuadro 6-30.- Cubierta de la nave de “Fundición, S.A.”. (Fuente: [89])	124

Cuadro 6-31.- Placa solar de cristal policristalino. (Fuente: [90])	125
---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6-1.- Periodos de la tarifa 2.0DHA. (Fuente: Elaboración propia)	42
Tabla 6-2.- Periodos de la tarifa 3.0A. (Fuente: Elaboración propia)	43
Tabla 6-3.- Periodos de la tarifa 3.1A. (Fuente: Elaboración propia)	44
Tabla 6-4.- Periodos de la tarifa 6.x. (Fuente: Elaboración propia)	45
Tabla 6-5.- Precios del Término de Potencia según periodo. (Fuente: Elaboración propia)	48
Tabla 6-6.- Valores de Ki dependiendo del periodo tarifario. (Fuente: [13])	48
Tabla 6-7.- Precios del Término de Energía según periodo. (Fuente: Elaboración propia)	51
Tabla 6-8.- Datos generales del consumo de energía activa. (Fuente: Elaboración propia)	52
Tabla 6-9.- Potencias contratadas actuales para cada periodo. (Fuente: Elaboración propia) ...	54
Tabla 6-10.- Fragmento de los datos aportados por la curva cuartohoraria. (Fuente: Elaboración propia)	54
Tabla 6-11.- Fragmento de los datos necesarios calculados con la hoja de cálculo de la curva cuartohoraria. (Fuente: Elaboración propia)	55
Tabla 6-12.- Pago por exceso de demanda de potencia contratada en la situación inicial. (Fuente: Elaboración propia).....	55
Tabla 6-13.- Pago de potencia contratada (sin impuesto eléctrico, IE) en la situación inicial. (Fuente: Elaboración propia).....	55
Tabla 6-14.- Pago total (sin IE) en la situación inicial. (Fuente: Elaboración propia)	56
Tabla 6-15.- Propuestas de potencia a contratar. (Fuente: Elaboración propia)	56
Tabla 6-16.- Potencias propuestas para cada periodo. (Fuente: Elaboración propia)	56
Tabla 6-17.- Coste de la potencia en la situación actual y en la propuesta. (Fuente: Elaboración propia).....	57
Tabla 6-18.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	57
Tabla 6-19.- Cos ϕ mensual. (Fuente: Elaboración propia)	59
Tabla 6-20.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	61
Tabla 6-21.- Reparto de consumo energético en planta. (Fuente: Elaboración propia)	61
Tabla 6-22.- Reparto de consumo energético en los hornos de fusión. (Fuente: Elaboración propia).....	62
Tabla 6-23.- Simulación del ahorro total del horno 1. (Fuente: Elaboración propia)	71
Tabla 6-24.- Simulación del ahorro de los hornos 2 y 3. (Fuente: Elaboración propia)	71
Tabla 6-25.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	72
Tabla 6-26.- Casos estudiados y su valor del coeficiente de determinación R^2 . (Fuente: Elaboración propia)	73

Tabla 6-27.- Valores de la variable dependiente y de las variables independientes utilizadas en este caso 1. (Fuente: Elaboración propia)	74
Tabla 6-28.- Valores de la variable dependiente y de las variables independientes utilizadas en este caso 2. (Fuente: Elaboración propia)	75
Tabla 6-29.- Resumen de las estadísticas de la regresión. (Fuente: Elaboración propia).	76
Tabla 6-30.- Características del trafo 1. (Fuente: Elaboración propia)	82
Tabla 6-31.- Características del trafo 2. (Fuente: Elaboración propia)	83
Tabla 6-32.- Características del trafo 3. (Fuente: Elaboración propia)	84
Tabla 6-33.- Características técnicas y grado de carga de los transformadores. (Fuente: [53]) .	85
Tabla 6-34.- Consumos en el trafo 1. (Fuente: Elaboración propia)	85
Tabla 6-35.- Consumos en el trafo 2. (Fuente: Elaboración propia)	86
Tabla 6-36.- Consumos en el trafo 3. (Fuente: Elaboración propia)	86
Tabla 6-37.- Grupos de bombeo para la refrigeración de los hornos. (Fuente: Elaboración propia).....	95
Tabla 6-38.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	101
Tabla 6-39.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	101
Tabla 6-40.- Características principales de los compresores y el secador. (Fuente: [72])	103
Tabla 6-41.- Registro de los compresores. (Fuente: Elaboración propia)	106
Tabla 6-42.- Especificaciones técnicas GA 37-75 VSD. (Fuente: [72])	107
Tabla 6-43.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	112
Tabla 6-44.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	113
Tabla 6-45.- Pérdidas ocasionadas por orificios de diferentes diámetros. (Fuente: Elaboración propia).....	114
Tabla 6-46.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	117
Tabla 6-47.- Inventario de la iluminación actual interior. (Fuente: Elaboración propia)	118
Tabla 6-48.- Inventario de la iluminación actual exterior. (Fuente: Elaboración propia)	118
Tabla 6-49.- Propuesta de cambio a tecnología LED en la iluminación interior. (Fuente: Elaboración propia)	122
Tabla 6-50.- Propuesta de cambio a tecnología LED en la iluminación exterior. (Fuente: Elaboración propia)	123
Tabla 6-51.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	124
Tabla 6-52.- Valores de la irradiación solar global sobre el plano horizontal en la zona de la planta. (Fuente: [91])	126
Tabla 6-53.- Valores del factor k para una latitud de 43°. (Fuente: [92])	126
Tabla 6-54.- Datos según la situación de la futura instalación de paneles fotovoltaicos. (Fuente: Elaboración propia)	128
Tabla 6-55.- Datos técnicos de la instalación. (Fuente: Elaboración propia)	128

Tabla 6-56.- Datos del ahorro económico por la futura instalación. (Fuente: Elaboración propia)	128
Tabla 6-57.- Datos económicos de la instalación. (Fuente: Elaboración propia)	129
Tabla 6-58.- Cuadro de rentabilidad económica. (Fuente: Elaboración propia)	129
Tabla 6-59.- Resultado de la inversión. (Fuente: Elaboración propia)	130
Tabla 6-60.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	130
Tabla 6-61.- Resumen de las propuestas de mejora. (Fuente: Elaboración propia)	131

1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, la demanda de energía eléctrica por parte de la sociedad va en aumento debido a las mejoras tecnológicas y a un mundo cada vez más automatizado. Por el contrario, los recursos energéticos no renovables tienen en su capacidad de abastecimiento una tendencia negativa, con peligro de desaparecer las reservas de estos. Además, el notable cambio climático que sufre nuestro planeta debido a la contaminación y la disminución de la capa de ozono de la atmósfera hacen que la reducción de las emisiones de CO₂ sea de verdadera importancia. Debida a esta situación, la eficiencia energética y el uso de energías renovables son temas muy estudiados y buscados por particulares y empresas. La concienciación de un uso responsable de la energía se ha extendido notablemente durante los últimos años. En resumen, este estudio está motivado por la necesidad del cambio de la situación energética presente en nuestros días, cada vez más precaria.

Por otro lado, a través del desarrollo tecnológico cada vez es más fácil encontrar equipos más eficientes siendo el consumo de éstos menor además de energías renovables más innovadoras. Por estas razones, es de vital importancia realizar estudios para conocer cómo es posible mejorar las instalaciones existentes a través, por ejemplo, de la renovación de equipos obsoletos.

El sector industrial es uno de los sectores más consumidores de energía y dentro de este las empresas dedicadas a la metalurgia destacan como grandes consumidoras. Debido a esta razón el caso práctico realizado en este trabajo fin de grado es muy representativo de la situación de las empresas industriales.

Consecuencia del modelo energético actual insostenible, han aparecido en los últimos años numerosas políticas y normativas, tanto nacionales como internacionales, en cuestiones de eficiencia energética. El Gobierno de España siguiendo las directrices establecidas por la Unión Europea impulsa la eficiencia energética en las grandes empresas a través del Real Decreto 56/2016 cumpliendo los requisitos de la norma UNE-EN 16247. A través de esta normativa se obliga a las grandes empresas a realizar auditorías energéticas para reducir su consumo energético. Sin embargo, como se puede observar en el caso práctico del presente trabajo, una empresa que no tenga la obligación de realizar dicha auditoría puede seguir siendo una gran consumidora de energía y a través de la realización de una auditoría energética conseguir unos ahorros energéticos considerables. La realización de una auditoría energética a una empresa industrial tiene grandes beneficios para esta:

- Conocer en profundidad sus consumos energéticos y observar el funcionamiento de la empresa de una manera objetiva, pudiendo identificar en que partes de la instalación se consume más energía centrando el estudio en estas partes. También, se pueden detectar errores de funcionamiento de los procesos o de las maquinarias presentes y su rendimiento.
- Se promueve una innovación manteniendo los equipos de la planta actualizados con la última tecnología disponible y de esta manera se consigue mejorar la competitividad de la empresa debido a que se genera un menor coste de producción, pudiendo invertir el ahorro generado en seguir mejorando la empresa en otros aspectos.

- Supone una inversión, no un gasto, debido a que las auditorías energéticas se suelen adaptar a las capacidades y necesidades de la empresa, con un retorno de la inversión rápido en el tiempo. Además, se incrementan los beneficios con las medidas propuestas.
- Se genera una garantía de calidad para los clientes de la empresa, ya que al realizar auditorías energéticas se muestra el interés por garantizar la mejor calidad posible en el proceso de la planta debido al correcto funcionamiento y la innovación llevada a cabo en la planta.
- La sostenibilidad y la actitud responsable de la empresa puede ser muy valorada por parte de la sociedad, ya que demuestra la preocupación por el medio ambiente y el cambio climático.

Por lo tanto, la ventaja es doble principalmente: la empresa consigue mejorar sus inversiones de capital ahorrando en gastos que pueden evitarse a través de la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones y toda la sociedad consigue un beneficio medioambiental al reducir la empresa su consumo energético y las emisiones de CO₂.

Por todas estas razones, una empresa industrial que no esté obligada por ley a realizar una auditoría energética, pero sea una gran consumidora de energía debería realizar una auditoría energética obteniendo de esta forma un gran beneficio que redunde no sólo en ella sino también en el conjunto de la sociedad.

2. OBJETO Y ALCANCE.

2.1. OBJETO.

En este trabajo de fin de grado se detalla un estudio de una auditoría energética de una empresa industrial.

En los primeros apartados del presente documento, se explica el concepto e importancia de la realización de una auditoría energética, así como su procedimiento. Además de observar el estado del arte.

Posteriormente, se aplica todo lo anterior a un caso práctico que se basa en una auditoría energética de una empresa industrial llamada “Fundición, S.A.”. Esta empresa industrial es una fundición y, por lo tanto, gran consumidora de energía. No obstante, esta empresa no está obligada por normativa a realizar dicha auditoría. Esto último hace que esta parte del estudio sea aún más interesante y uno de los pilares fundamentales para lograr entenderlo.

En el caso práctico se detalla un estudio energético con el fin de determinar y cuantificar los consumos de energía de la empresa, así como identificar posibles ahorros de energía a un coste eficiente estableciendo un conjunto de reformas y mejoras. Por lo tanto, el estudio de esta auditoría energética a la empresa industrial “Fundición, S.A.” va a tratar de un análisis detallado del uso de la energía de todos los componentes de la planta con un consumo energético relevante, para intentar conseguir un ahorro económico y reducir sus emisiones de CO₂, a través de propuestas de mejora.

2.2. ALCANCE.

El estudio realizado se basa en una auditoría energética de una empresa industrial llamada “Fundición, S.A.” situada en Cantabria. Esta empresa versa sobre un caso real en el cual ciertos datos han sido modificados por cuestiones de confidencialidad. Por lo tanto, el objetivo del estudio es un objetivo real, la disminución del consumo energético, que es la base de la mayoría de las auditorías energéticas que se realizan. Conseguir una disminución del consumo energético de la empresa a través de una mejora de la eficiencia energética en sus servicios es lo que se pretende llevar a cabo a través de esta auditoría energética.

Entre los objetivos que persigue la auditoría energética realizada en este trabajo destacan los siguientes:

- Un análisis de la facturación energética, estudiando los conceptos más importantes de la misma: consumos de un año completo, potencia contratada, precios de los diferentes términos, consumos de energía reactiva, penalizaciones a tener en cuenta, etc. Explicando además información relevante para su comprensión.
- Un análisis del suministro eléctrico: evaluación de las pérdidas en los transformadores, armónicos, factor de potencia de la instalación, etc.
- Un desglose de los diferentes consumos energéticos con sus correspondientes costes en función de los diferentes servicios de la planta, observando de esta manera aquellos en los cuales se debe incidir.

- Estudiar todas las instalaciones y máquinas presentes en la planta, como, por ejemplo, los sistemas de aire comprimido o la iluminación. Desglosando sus patrones de comportamiento, analizando sus fallos y detectando sus posibles mejoras.
- Estudiar la posible instalación de energía renovable, como demostración del compromiso de la empresa con el medioambiente y la tecnología innovadora.
- Valoración económica de todas las propuestas de mejora, observando su ahorro, la inversión y la amortización. Toda esta información será recogida además en una tabla resumen para poder observar las propuestas globalmente.

3. NECESIDAD DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA.

3.1. DEFINICIÓN DE AUDITORÍA ENERGÉTICA.

Desde el comienzo de la vida, la energía es una necesidad, dado que un organismo para crecer y reproducirse necesita energía, la respiración de las plantas y los animales implica una acción energética, y como estos encontramos infinitudes de ejemplos. A partir de esto, hemos ido desarrollándonos, utilizando la energía como base de ello.

Si buscamos “energía” en el diccionario de la Real Academia Española (RAE) [1], encontramos que la definen como:

1. “f. Eficacia, poder, virtud para obrar.
2. f. Fís. Capacidad para realizar un trabajo. Se mide en julios. (Símb. E)”.

En este caso, para nosotros será la segunda definición. Gracias a ella se puede llegar a realizar un trabajo, esto ha supuesto a los seres humanos desde los inicios, la constante necesidad de su utilización a través de distintas formas para su evolución. En la actualidad, la energía nos permite la utilización de una gran cantidad de aparatos y maquinaria que nos hacen la vida mucho más fácil.

Por otro lado, si nos fijamos en el concepto de “auditoría”, la Real Academia Española (RAE) [2] lo define como:

1. “f. Revisión sistemática de una actividad o de una situación para evaluar el cumplimiento de las reglas o criterios objetivos a que aquellas deben someterse.
2. f. Revisión y verificación de las cuentas y de la situación económica de una empresa o entidad.
3. f. Empleo de auditor.
4. f. Tribunal o despacho del auditor”.

La correcta definición para este caso es la primera, ya que se trata de una revisión de la situación actual para poder cumplir una serie de criterios, como son el ahorro energético.

Si englobamos ambos conceptos, “auditoría energética”, obtenemos su definición: Una auditoría energética es una herramienta de análisis energético para optimizar la eficiencia energética de los sistemas y servicios.

La norma UNE-EN 16247-1 (2014) [3] define auditoría energética de la siguiente manera:

“Una auditoría energética constituye un paso importante para una organización de cualquier tipo o tamaño que desee mejorar su eficiencia energética, reducir el consumo de energía y obtener los beneficios medioambientales consiguientes.”

3.2. CONSUMO ENERGÉTICO.

A continuación, se detallará el consumo energético a nivel mundial y nacional. Ya que es una de las principales preocupaciones de la sociedad actual.

3.2.1. Consumo energético a nivel mundial.

Analizando el informe realizado por BP (British Petroleum) [4], podemos ver el peso que cada tipo de energía primaria tuvo a nivel mundial durante el año 2017.

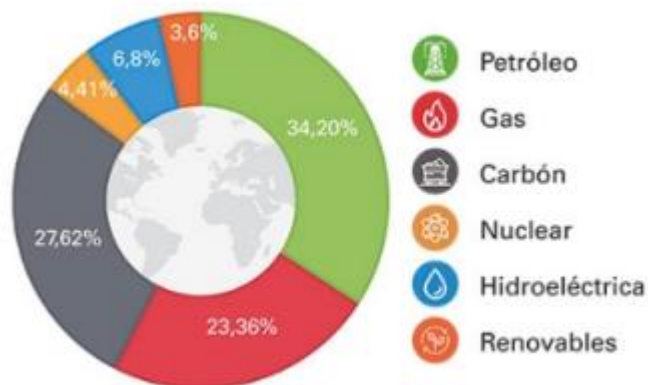


Gráfico 3-1.- Consumo de energía primaria a nivel mundial. (Fuente: [4])

En dicho informe se establece que el 34,20% de la energía consumida a nivel mundial en el año 2017 fue petróleo, seguida por el carbón con un 27,62% y el gas con un 23,36%. Todos estos son combustibles fósiles, jugando un papel fundamental en el consumo actual global. Por otro lado, el porcentaje más bajo es el de las energías renovables con un 3,6%.

En este mismo informe [4] también se detalla el incremento de consumo energético a nivel mundial de cada tipo de energía respecto al año 2016, esto se debe a que el PIB repunta por la mejora en la actividad industrial, la cual demanda más energía. Esto también está haciendo que se aumenten las emisiones de CO₂. Además, que las energías renovables sean las que presenten un mayor incremento (17%) apunta a que la transición energética sigue en marcha.



Gráfico 3-2.- Incremento del consumo energético a nivel mundial. (Fuente: [4])

3.2.2. Consumo energético a nivel nacional.

Centrándonos en la situación a nivel nacional, en España tenemos la siguiente distribución del consumo de la energía primaria para el año 2017:

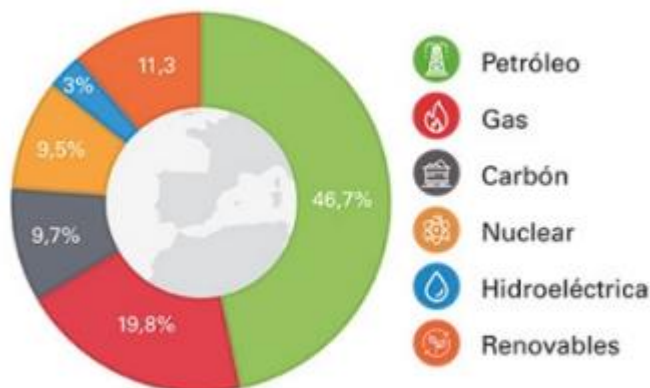


Gráfico 3-3.- Consumo de energía a nivel nacional. (Fuente: [4])

En el informe realizado por BP [4] se define que el petróleo representó un 46,7% del consumo a nivel nacional, seguido del gas con un 19,8% y las energías renovables con un 11,3%. Esto revela que España apuesta más por las energías renovables que por el carbón, al contrario que a nivel mundial, siendo el 23,8% del consumo con combustibles no fósiles (renovables, nuclear, hidroeléctrica y otros).

Pero observando los incrementos de consumo energético respecto al año anterior, los datos no son tan positivos:



Gráfico 3-4.- Incrementos del consumo energético a nivel nacional. (Fuente: [4])

Se muestra una bajada significativa de la energía hidroeléctrica debido a la sequía. Por otro lado, han aumentado el consumo de fuentes de energía menos limpias como el carbón. También, vemos que el consumo energético mantiene una tendencia ascendente desde 2015:

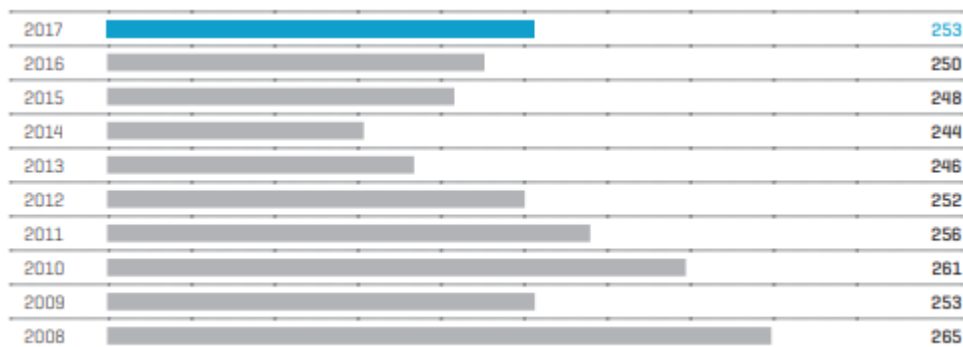


Gráfico 3-5.- Evolución de la demanda eléctrica peninsular en los últimos 10 años (TWh). (Fuente: [5])

Podemos obtener más información a través del Informe del Sistema Eléctrico de 2017 emitido por Red Eléctrica de España (REE) [5]:

La potencia eléctrica instalada en España es de 104.122 MW, de la cual el 46,3% es de energías renovables.

En la siguiente imagen se muestra la generación de energía eléctrica de origen renovable y no renovable a nivel peninsular:

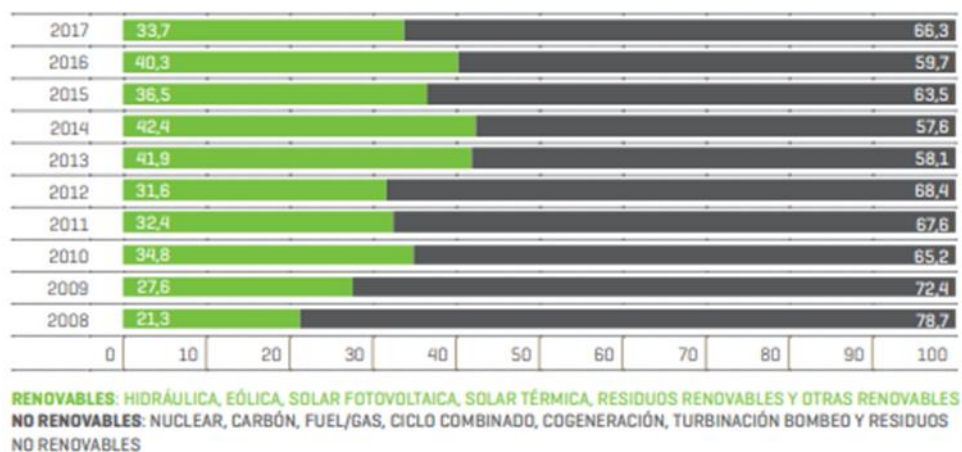


Gráfico 3-6.- Evolución de la generación eléctrica renovable y no renovable. (Fuente: [5])

A continuación, se detalla la generación anual de energía renovable peninsular del año 2017:

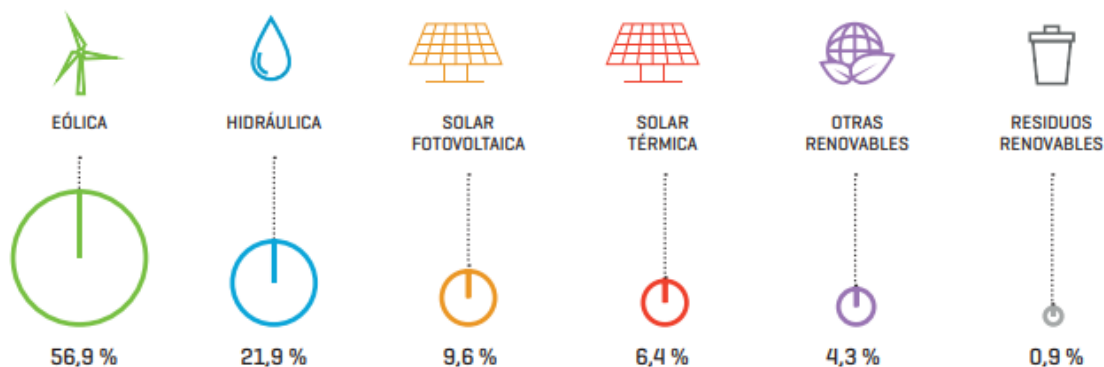


Gráfico 3-7.- Generación anual de energía renovable peninsular. (Fuente: [5])

3.2.3. Consumo energético en el sector industrial.

Cada vez es más importante la cantidad de energía consumida que se dedica al transporte y a la actividad industrial en los países desarrollados como España. Correspondiendo el 31% del consumo de energía a la actividad industrial [6].

En el sector industrial nos encontramos con el funcionamiento de una maquinaria cada vez más potente y eficaz, un constante transporte de mercancías y personas o la variable producción de calor y de refrigeración. Estas demandas energéticas son habituales en la mayoría de las empresas.

Si nos centramos en la industria, el sector de la metalurgia es el sector que genera mayor gasto energético, seguido de la alimentación, la química y la farmacéutica [7].

Por todo lo anterior, la optimización del uso de la energía y la introducción de energías renovables son aspectos fundamentales de una auditoría energética industrial.

4. ESTADO DEL ARTE.

4.1. ANÁLISIS TEÓRICO.

Las auditorías energéticas están impulsadas por la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2012/27/EU del 12 de octubre de 2012, a través de la cual se pretende impulsar la eficiencia energética y el ahorro de energía para alcanzar los objetivos de la Unión Europea. Esta directiva está enmarcada dentro del objetivo 20/20/20 acordado en diciembre de 2008 por el Parlamento Europeo según el cual se acuerdan los siguientes compromisos medioambientales:

- La reducción en un 20% de las emisiones de CO₂.
- La reducción en un 20% del consumo de la energía primaria.
- El 20% de la energía total que se consuma debe tener su origen en fuentes renovables.

Por este motivo, España el 12 de febrero de 2016 aprobó el Real Decreto 56/2016 [8] con el fin de adaptarse a la norma, quedando el proceso de auditoría energética regulado. Este Real Decreto [8] cuenta con los siguientes capítulos:

- “CAPÍTULO I. Disposiciones generales.
 - Artículo 1. Objeto y definiciones.
- CAPÍTULO II. Auditorías energéticas.
 - Artículo 2. Ámbito de aplicación.
 - Artículo 3. Alcance de la exigencia y criterios mínimos a cumplir por las auditorías energéticas.
 - Artículo 4. Auditores energéticos.
 - Artículo 5. Inspección de la realización de las auditorías energéticas.
 - Artículo 6. Registro Administrativo de Auditorías Energéticas.
- CAPÍTULO III. Sistema de acreditación para proveedores de servicios energéticos y auditores energéticos.
 - Artículo 7. Requisitos para el ejercicio de la actividad profesional del proveedor de servicios energéticos.
 - Artículo 8. Requisitos para el ejercicio de la actividad profesional de auditor energético.
 - Artículo 9. Habilitación y declaración responsable relativa al cumplimiento de los requisitos de proveedor de servicios energéticos.
 - Artículo 10. Listado de Proveedores de Servicios Energéticos.
 - Artículo 11. Control del Listado de Proveedores de Servicios Energéticos.
 - Artículo 12. Libre prestación.
- CAPÍTULO IV. Promoción de la eficiencia energética en la producción y uso del calor y del frío.
 - Artículo 13. Promoción de la eficiencia energética en la producción y uso del calor y del frío.
- CAPÍTULO V. Régimen sancionador.
 - Artículo 14. Infracciones y sanciones.
- ANEXOS”.

A continuación, teniendo en cuenta este índice se analizarán los aspectos más relevantes del capítulo 2 del mismo, ya que es el que trata de auditorías energéticas. Adicionalmente, se muestra la definición que muestra el RD 56/2016 (2016) [8] sobre “auditoría energética”, ya anteriormente definida en este documento:

«Auditoría energética»: “Todo procedimiento sistemático destinado a obtener conocimientos adecuados del perfil de consumo de energía existente de un edificio o grupo de edificios, de una instalación u operación industrial o comercial, o de un servicio privado o público, así como para determinar y cuantificar las posibilidades de ahorro de energía a un coste eficiente e informar al respecto. En el caso del transporte, la auditoría energética sólo se referirá al transporte vinculado a la actividad de la empresa”.

4.1.1. Ámbito de aplicación, alcance de la exigencia y criterios mínimos a cumplir por las auditorías energéticas: ¿Quiénes están obligados a realizar una auditoría energética y cuáles son los criterios que deben cumplir?

Se debe explicar quienes están obligados a realizar una auditoría energética en España, según el RD 56/2016 de 12 de febrero (BOE-A-2016-1460) [8]:

Este Real Decreto [8] establece que las empresas que deben realizar una auditoría energética de una manera obligatoria son aquellas que se consideren grandes empresas, es decir, todas las empresas que ocupen al menos a 250 personas como aquellas que no cumplan con este requisito, pero tengan un volumen de negocio que exceda de 50 millones de euros y, a la par, un balance general que exceda de 43 millones de euros. También, es obligatorio para los grupos de sociedades, definidos según lo establecido en el artículo 42 del Código de Comercio. Sin embargo, quedan excluidas en el ámbito de aplicación de carácter obligatorio las microempresas, y pequeñas y medianas empresas (PYMES).

Todas estas empresas deben someterse a una auditoría energética cada cuatro años a partir de la fecha de la auditoría energética anterior. Estas auditorías energéticas deben cubrir al menos el 85% del consumo total de energía de las instalaciones ubicadas en el territorio nacional. Adicionalmente, todas aquellas empresas que, durante al menos dos ejercicios consecutivos cumplan con la condición de gran empresa, deben someterse a la primera auditoría energética en un plazo de 9 meses, siempre que no se hayan realizado en los cuatro anteriores años o no tengan implementado un sistema de gestión de la energía.

Por último, las auditorías deben basarse en datos operativos actualizados, medidos y verificables de consumos energéticos, abarcando un examen pormenorizado del perfil de consumos energéticos. Las empresas están obligadas a conservar la auditoría energética en vigor y ponerla a disposición cuando así se requiera. Los datos empleados para las auditorías se deben poder almacenar y estas reflejarán cálculos detallados y válidos para las medidas propuestas. Asimismo, siempre que sea posible, se fundamentarán en criterios de rentabilidad en el análisis del coste del ciclo de vida. Por otro lado, las empresas están obligadas a actualizar la información contenida en sus auditorías y las auditorías no contendrán cláusulas que impidan transmitir las

conclusiones de la auditoría. También están obligadas las empresas a presentar las auditorías a los organismos pertinentes.

Por otro lado, muchas empresas que no están obligadas por ley a realizar una auditoría energética llevan a cabo una auditoría energética para obtener datos fiables de su consumo energético y el gasto que supone, los factores que más influyen en el consumo y conocer su rendimiento energético. Además, a través de las auditorías energéticas pueden conocer las diferentes propuestas de medidas de ahorro energético, cuánto cuestan estas y la reducción de coste que conllevan. En definitiva, aquellas empresas que tienen mucho consumo energético pueden reducirlo a través de la auditoría energética mejorando de esta forma su desempeño energético.

4.1.2. Auditores energéticos: ¿Quiénes pueden realizar una auditoría energética?

Las auditorías energéticas solo pueden estar realizadas por auditores energéticos que estén debidamente cualificados, los cuales no pueden ser técnicos de la empresa a la cual se va a realizar la auditoría energética, a no ser que estos pertenezcan a un departamento de control interno de dicha empresa y no estén relacionados directamente con las actividades auditadas.

4.1.3. Inspección de la realización de las auditorías energéticas. ¿Qué es y en qué consiste?

Una inspección de auditorías energéticas verifica si se ha realizado dicha auditoría y comprueba que esta cumpla con todos los requisitos exigibles. Debido a esto, cada comunidad autónoma o las ciudades de Ceuta o Melilla serán los órganos encargados de llevar a cabo, establecer y aplicar un sistema de inspección de la realización de las auditorías energéticas independiente. Estos órganos pueden realizar tantas inspecciones como quieran en todas aquellas empresas que estén obligadas a ello. Todas estas inspecciones se realizarán al azar sobre una selección anual de al menos una proporción estadísticamente significativa de las auditorías energéticas realizadas en cada periodo de cuatro años y las llevarán a cabo personal funcionario de los órganos citados anteriormente. Además, estos órganos deberán informar anualmente, al menos, del número de inspecciones realizadas y del resultado de este control al Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Asimismo, se puede establecer un modelo de envío de información por Resolución de la Dirección General de Política Energética y Minas, que se publicará en el Boletín Oficial del Estado (BOE).

4.1.4. Registro Administrativo de Auditorías Energéticas.

Este registro es llevado a cabo en el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, el cual dispone de un Registro Administrativo de Auditorías Energéticas. Este registro es gratuito y de carácter público, donde se podrá observar toda la información comunicada por aquellas grandes empresas obligadas y las comunicadas por el resto de las empresas de manera voluntaria. Esta información será la necesaria para poder identificar a las empresas obligadas a la realización de las auditorías energéticas, los resultados de estas

y otros datos que se consideren relevantes. Todas estas empresas deben remitir al órgano de la comunidad autónoma competente en materia de eficiencia energética, donde se encuentran las instalaciones que han sido objeto de estudio de la auditoría energética. Esta comunicación debe realizarse en un plazo máximo de tres meses desde que la auditoría citada fuera realizada. Posteriormente, dicho órgano competente remitirá esta información a la Dirección General de Política Energética y Minas del Ministerio de Industria, Energía y Turismo, en un plazo máximo de un mes, a efectos de proceder con la correspondiente inscripción en el registro.

4.2. ANÁLISIS CIENTÍFICO.

Como hemos podido observar hasta este momento, la energía es algo fundamental para nuestra vida y nuestro desarrollo. En los últimos años debido a las diferentes normativas y a la concienciación de una necesidad de sostenibilidad por parte de la sociedad se han realizado innumerables estudios científicos. Por lo tanto, realizar un análisis científico se convierte en una parte fundamental de cualquier estudio ya que permite tener un concepto global del tema que se va a tratar. Adicionalmente, debe observarse su evolución y su contexto histórico.

En la actualidad nos encontramos con diferentes bases de datos bibliográficas de publicaciones científicas, que hacen posible conocer el número concreto de publicaciones realizadas a lo largo del tiempo. Algunas de las bases de datos más conocidas son “Scopus” y “Web of Science”. Ambas licencias están gestionadas por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). Sin embargo, para el presente trabajo de fin de grado se ha utilizado la base de datos de la “Biblioteca de la Universidad de Cantabria” [9], llamada “ÚniCo”, debido a que al ser alumno de la Universidad de Cantabria resulta muy fácil su acceso. Este buscador informático permite encontrar diferentes contenidos: artículos, revistas, libros, tesis, trabajos, etc.: es decir, millones de documentos científicos procedentes de distintas fuentes como las anteriormente mencionadas.

Las palabras utilizadas para este estudio han sido las siguientes:

- Eficiencia energética (Energy efficiency).
- Auditoria energética (Energy audit).
- Auditoría energética de una empresa industrial (Energy audit of an industrial company).

4.2.1. Eficiencia energética (Energy efficiency).

Primero, se han buscado los términos “energy efficiency” en la Biblioteca de la Universidad de Cantabria [9]. Encontrando un total de 3.263.054 resultados, de los cuales 1.081.158 de ellos pertenecen a los últimos 5 años. A continuación, se muestra la evolución en cuanto a número de artículos relacionados con la eficiencia energética que han sido publicados durante los últimos 15 años:

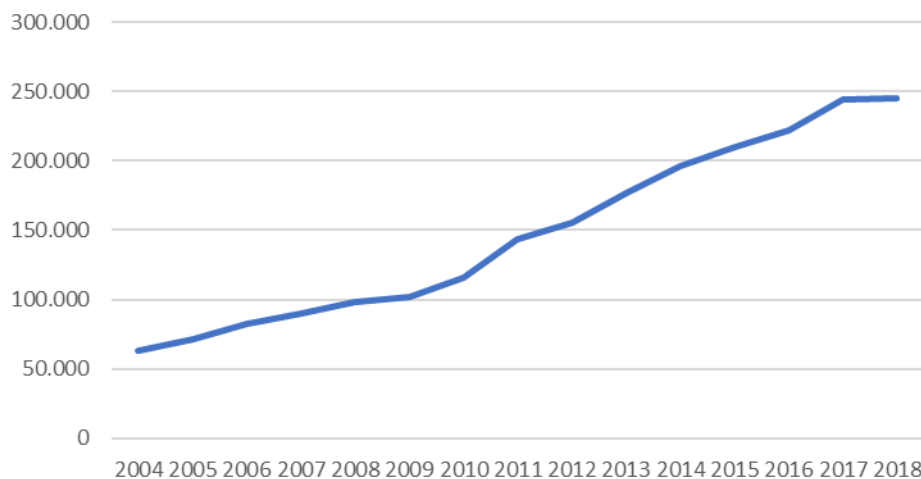


Gráfico 4-1.- Artículos científicos encontrados con "energy efficiency". (Fuente: Elaboración propia)

Se observa que en general los artículos científicos sobre eficiencia energética han ido en aumento a lo largo de los últimos 15 años. Esta tendencia puede ser debida a que por parte de la sociedad se ha ido dando una mayor importancia al uso de la energía. Además de esta concienciación ambiental por parte de la sociedad, también el desarrollo de la tecnología hace que sea posible una mayor eficiencia energética, a través de la cual se consiguen ahorros desde un punto de vista energético y económico.

4.2.2. Auditoría energética (Energy Audit).

La segunda búsqueda realizada en la base de datos de la Biblioteca de la Universidad de Cantabria [9] incluía los términos "energy audit", encontrándose un total de 283.716 publicaciones, de las cuales 40.186 se han realizado en los últimos 5 años. En el siguiente gráfico se puede observar la evolución de los artículos relacionados con esta segunda búsqueda durante los 15 últimos años:

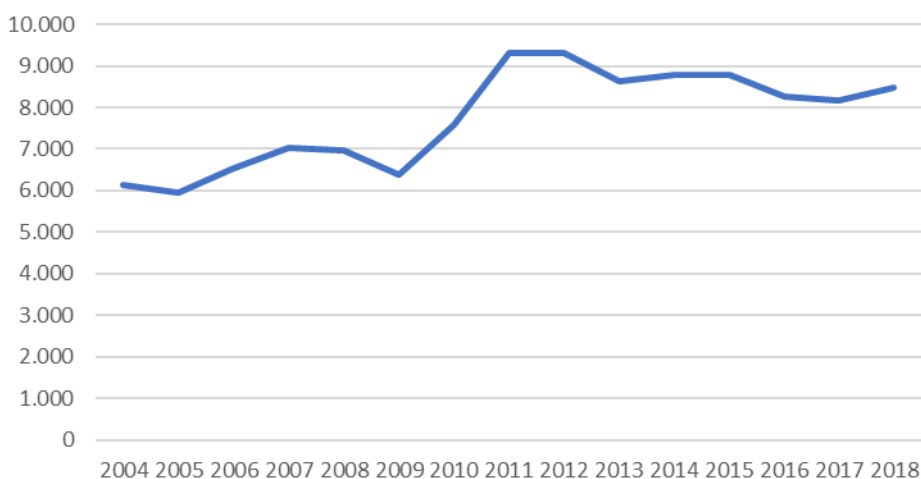


Gráfico 4-2.- Artículos científicos encontrados con "energy audit". (Fuente: Elaboración propia)

En el caso de los artículos encontrados sobre auditorías energéticas su evolución es creciente. Es en el año 2009 donde nos encontramos un número menos elevado de artículos científicos, observamos que se produce un crecimiento significativo a partir de ese año, lo cual puede deberse a la norma UNE 216501 sobre auditorías energéticas del año 2009. Esta norma tenía como objetivo describir los requisitos que debe tener una auditoría energética de aplicación totalmente voluntaria.

4.2.3. Auditoría energética de una empresa industrial (Energy audit of an industrial company).

Por último, los términos buscados han sido el título de este estudio “energy audit of an industrial company”. Se han encontrado con esta búsqueda 77.947 resultados, 8.905 de ellos publicados en los últimos 5 años. Se muestra la evolución de los artículos científicos en los últimos 15 años:

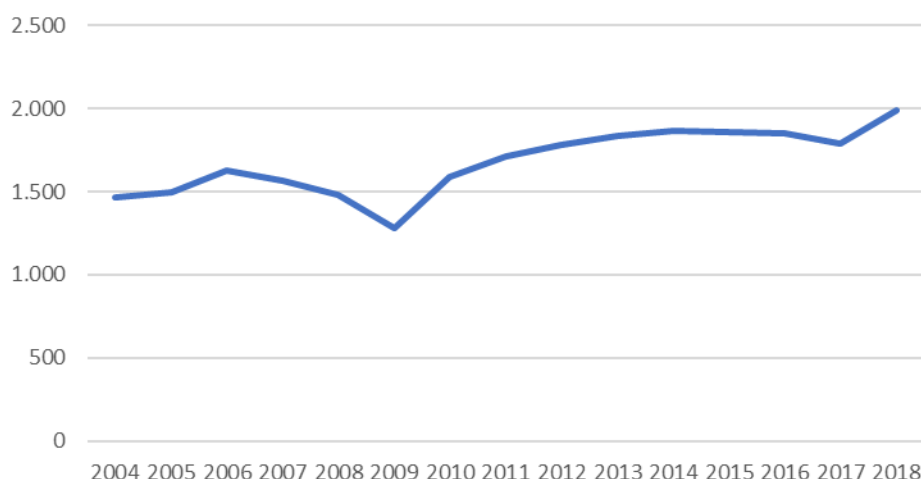


Gráfico 4-3.- Artículos científicos encontrados con “energy audit of an industrial company”. (Fuente: Elaboración propia)

La forma que muestra el gráfico de igual manera que el de auditoría energética es creciente. Tienen ciertas similitudes debido a que este último sería un tipo de auditoría energética de todas las que pueden llegar a realizarse, focalizándose en este último caso en una empresa industrial.

4.2.4. Análisis de los resultados de búsqueda.

En todas las búsquedas realizadas se observa un aumento del número de artículos científicos, sobre todo en los últimos años. Esto se debe a que la sociedad, cada vez más concienciada con el medioambiente y el buen uso de la energía, busca una mejora de los recursos aplicando la eficiencia energética. En las gráficas de auditorías energéticas se observa una leve disminución de los artículos científicos en los años de la crisis económica, pero este descenso no es significativo. Por todo lo explicado anteriormente, debemos suponer que en un futuro próximo la tendencia del número de estos artículos

seguirá incrementándose positivamente. La eficiencia energética ha llegado a nuestras vidas para quedarse y con ella las auditorías energéticas, incluidas las del sector industrial.

5. METODOLOGÍA.

Principalmente, una auditoría energética describe la situación actual de la empresa y a partir de esta se realizan propuestas de mejoras tanto económicas como energéticas, consiguiendo una eficiencia energética en sus instalaciones. Es decir, el proceso de realización de una auditoría energética tiene una metodología concreta, la cual puede ser circular ya que existe la posibilidad de ser realizada las veces que se crean convenientes siempre que puedan llegar a implementarse en la planta nuevas medidas de mejora, siendo necesario que haya transcurrido un periodo de tiempo conveniente entre la auditoría previa y la actual.

5.1. PROCESO DE LA REALIZACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA.

El proceso de realización de una auditoría energética consta de una serie de pasos: planificación, toma de datos, análisis de datos, propuestas de mejoras y emisión de informe de la auditoría energética [10-12].

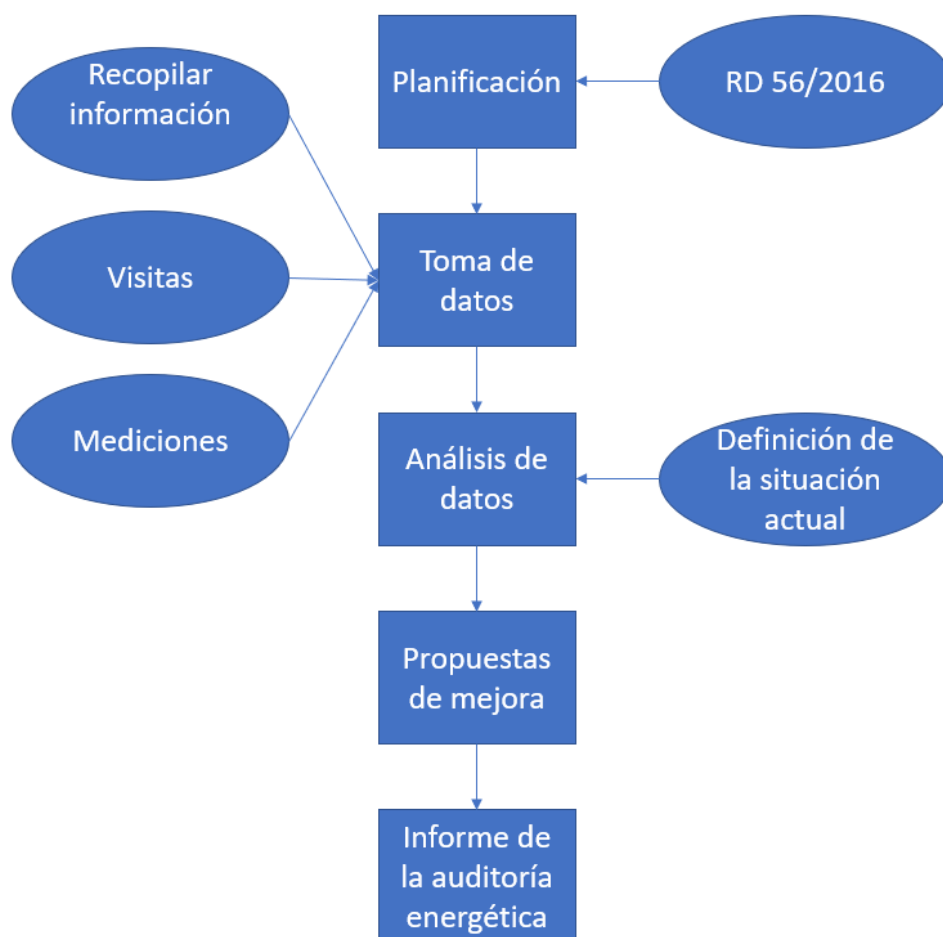


Gráfico 5-1.- Proceso de la realización de una auditoría energética. (Fuente: Elaboración propia)

5.1.1. Planificación.

En primer lugar, hay que establecer las normas que se deben aplicar a la hora de realizar la auditoría energética. La norma que se debe tener en cuenta en las auditorías energéticas en España es la norma UNE-EN 16247.

5.1.2. Toma de datos.

Posteriormente, se debe solicitar y recopilar información previa que sea necesaria antes de la realización de una auditoría energética. Entre esta información se encontrarán los datos y los requisitos del cliente, la identificación de los inmuebles, planos constructivos generales de distribución en planta, etc. En muchas ocasiones pueden existir estudios relacionados que pueden llegar a facilitar la realización de la auditoría energética. Pero, sin lugar a dudas, una de las principales cosas que se deben solicitar son las facturas eléctricas. Estas nos permitirán realizar un estudio energético para conocer cuál es la situación actual de la empresa en cuanto a consumos energéticos. Además, normalmente las empresas no tienen ajustada su potencia contratada, por lo cual, la curva cuarto horaria de la instalación es otro dato muy interesante a conocer [12].

Adicionalmente, a partir de la información previa solicitada a la empresa sobre los equipos existentes en las instalaciones, se debe realizar una visita para comprobar in situ el estado y la situación de dichos equipos. Necesitamos conocer las características de los equipos, así como sus perfiles de funcionamiento.

Durante las visitas a las instalaciones de la empresa solicitante de la auditoría energética se realizan todas las medidas que se crean convenientes en los equipos de la instalación para de esta manera tener un análisis detallado del consumo energético de la planta. Para la realización de estas medidas se cuenta con una serie de material y de equipos, como podrían ser: analizadores de redes eléctricas, analizador de gases de combustión, luxómetro, termohigrómetro, cámara termográfica, etc.

5.1.3. Análisis de datos.

Una vez realizada la toma de datos y la recopilación de información, estos datos deben ser procesados y analizados. De esta forma se tendría una definición del escenario actual de la empresa en la que queda definido el reparto del consumo energético de la planta en los distintos equipos. El análisis posterior se centrará en aquellos puntos en los que el consumo resulte más significativo respecto al global. Los comportamientos inusuales o anomalías también serán detectados en esta fase.

5.1.4. Propuestas de mejoras.

A continuación, se realizaría un estudio de las mejoras que podría implementar la empresa, proponiendo medidas de ahorro económico y energético que sean significativas y con un tiempo de amortización corto. Es decir, todas las medidas propuestas deben ser analizadas desde el punto de vista de ahorro económico y energético durante el periodo de amortización.

Este estudio de mejoras se centrará en aquellas partes de la instalación de la empresa que tengan más consumos energéticos y que habrán sido analizados en detalle en la etapa anterior.

5.1.5. Informe de auditoría energética.

Con todo lo anterior se procede a realizar el informe de la auditoría energética. Este informe reflejará todos los objetivos de su realización, la descripción de las instalaciones, las mediciones realizadas, los análisis detallados, resumen de los resultados y las medidas propuestas para mejorar la eficiencia y reducir los consumos energéticos de cada parte de la empresa, así como subsanar cualquier anomalía detectada.

5.2. MATERIAL NECESARIO.

El material necesario para la realización de una auditoría energética depende de cada caso. No obstante, para la toma de medidas que se realizan durante las visitas a las instalaciones son comúnmente utilizados los siguientes dispositivos: analizador de redes eléctricas, luxómetro y cámara termográfica. Sin embargo, hay muchos otros dispositivos que son empleados en muchas ocasiones, como, por ejemplo: analizador de los gases de combustión, caudalímetro, registradores de humedad y temperatura, cámara endoscópica, etc. [13, 14]

5.2.1. Analizador de redes.

Un analizador de redes es un aparato que nos permite medir diferentes parámetros eléctricos de una red eléctrica: tensión, intensidad, potencia, factor de potencia, etc.

Un analizador de redes está compuesto por un registro y unas pinzas amperimétricas y voltimétricas. Normalmente, cuentan además con una impresora matricial, una unidad de grabación, un programa informático para conectar el aparato al ordenador y un programa para el tratamiento de datos. Todo esto permite que estos analizadores de redes sean capaces de memorizar y registrar los parámetros eléctricos, para posteriormente poder utilizar esa información.

En cuanto al procedimiento de utilización de estos aparatos se siguen los siguientes pasos:

1. Se deben tomar las medidas de autoprotección necesarias en cada caso.
2. Se conectan las pinzas amperimétricas y voltimétricas a las entradas del analizador.
3. Se conecta el analizador, se enciende y se programa.
4. Se comprueba que las lecturas que muestra el analizador son correctas.
5. Se deja el equipo trabajando, protegido y correctamente señalizado.
6. Una vez que se ha terminado de medir, se guardan los datos obtenidos con el analizador.
7. Se vuelca la información a un ordenador para poder ser tratada.

Por otro lado, se pueden colocar los equipos en cabecera, en subcuadros principales o en subcuadros secundarios.

Los registradores de los analizadores de redes pueden ser monofásicos o trifásicos. Los monofásicos son aquellos que registran los datos fase a fase obteniendo datos de voltaje e intensidad, y los trifásicos son aquellos que registran los datos de las tres fases a la vez proporcionando de manera automática los valores de potencia y energía.



Cuadro 5-1.- Analizador de redes midiendo en una instalación real. (Fuente: [15])

5.2.2. Luxómetro.

Un luxómetro es un aparato que sirve para medir la iluminancia (en luxes) sobre una superficie o a una distancia determinada, es decir, gracias al luxómetro podemos conocer la iluminación de una determinada zona. Se trata generalmente de aparatos ligeros y sencillos que están formados por un analizador y una sonda fotosensible.

Su empleo es sencillo, primero se coloca la sonda del luxómetro en el lugar donde se pretende conocer la medida, bien sobre una superficie o a una altura determinada. Después el aparato reflejará en su pantalla el valor medio y en ese momento se realiza una lectura. Al ser la iluminancia un parámetro muy sensible ante cualquier cambio, se necesitan tomar varias lecturas de los valores máximos y mínimos para obtener buenos resultados.

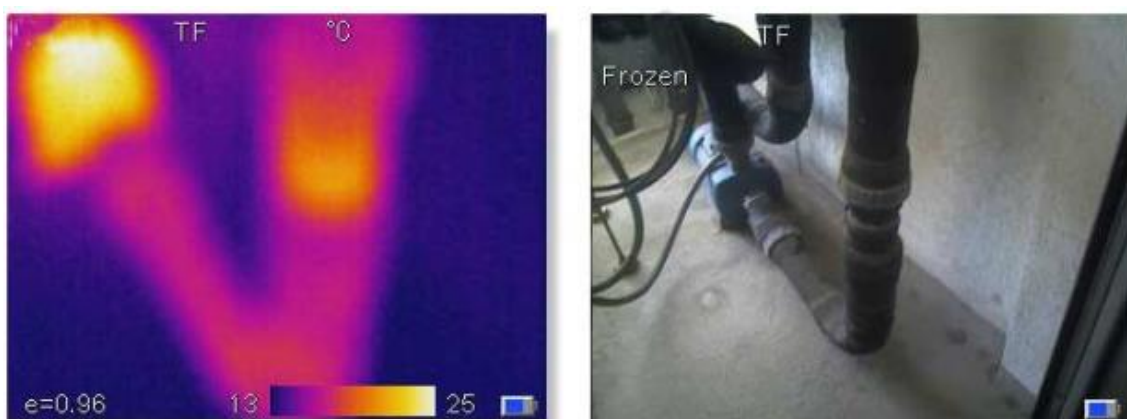
A través de los resultados obtenidos con un luxómetro se puede determinar si las superficies medidas se adaptan a los niveles de iluminancia reflejados en la normativa que les compete según las diferentes clasificaciones.



Cuadro 5-2.- Luxómetro. (Fuente: [16])

5.2.3. Cámara termográfica.

Una cámara termográfica es un aparato utilizado para medir la radiación infrarroja. A través de imágenes hace visible la radiación de calor (que no es visible para el ojo humano) de un objeto. Esta cámara convierte los datos recibidos en imágenes donde cada color representa una temperatura superficial. A través de esta tecnología se pueden visualizar y analizar patrones de temperatura. De esta manera se pueden analizar, mediante las imágenes obtenidas con la cámara termográfica, diferencias de temperatura superficiales generadas en procesos industriales. Teniendo en cuenta que todos los cuerpos que se encuentren por encima del cero absoluto (-273K) emiten radiación infrarroja, cuanto mayor es la temperatura a la que se encuentre el cuerpo, mayor será la radiación infrarroja.



Cuadro 5-3.- Termografía de una tubería frente a la foto original. (Fuente: [17])

Gracias a la cámara termográfica se pueden realizar tareas de inspección de una manera rápida. Su modo de empleo es muy sencillo, no obstante, la persona que utilice este aparato debe contar con formación específica sobre la tecnología y principios de los infrarrojos. Adicionalmente se deben tener en cuenta factores que pueden influir en los

valores medidos con este aparato como podrían ser la energía reflejada por los objetos cercanos, las condiciones ambientales y la emisividad de los objetos.

Por otro lado, muchas cámaras incluyen un programa informático de análisis y valoración para la interpretación de los resultados.

5.2.4. Material utilizado en el caso práctico.

En este apartado analizaremos el material utilizado en la realización de la auditoría energética llevada a cabo en el supuesto práctico. Estos equipos han sido utilizados durante dos meses (junio y julio de 2018) para la toma de datos.

- Analizadores de redes:
 - Analizador de redes portátil con display gráfico CIRCUTOR serie AR6.



Cuadro 5-4.- Analizador de redes CIRCUTOR AR6. (Fuente: [18])

- 2 analizadores de redes portátil CIRCUTOR serie AR5L.



Cuadro 5-5.- Analizador de redes AR5L. (Fuente: [18])

- 2 analizadores de redes eléctricas CIRCUTOR serie MYeBOX.



Cuadro 5-6.- Analizador de redes eléctricas CIRCUTOR MYeBOX. (Fuente: [18])

- 2 analizadores de redes eléctricas CIRCUTOR serie CRe+.



Cuadro 5-7.- Analizador de redes eléctricas CIRCUTOR CRe+. (Fuente: [18])

- 6 registradores de datos Onset HOB0 3 State/1 Event Data Logger serie U11-001.



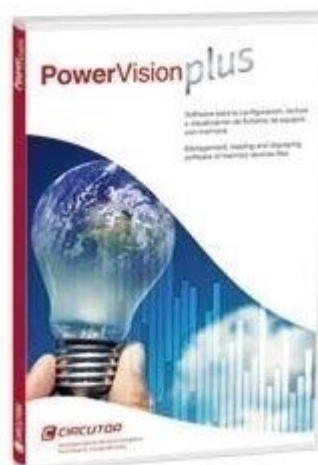
Cuadro 5-8.- Registrados de datos Onset serie U11-001. (Fuente: [19])

- 12 sensores de interruptor de corriente CA Onset serie CSV-A8.



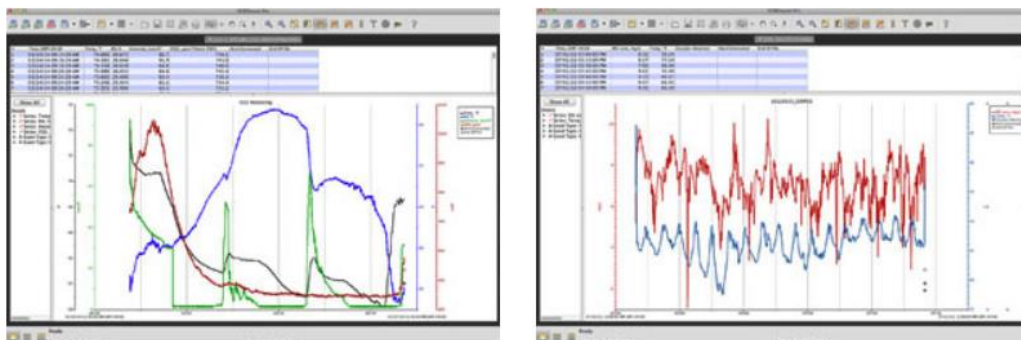
Cuadro 5-9.- Sensor de interruptor de corriente Onset serie CSV-A8. (Fuente: [19])

- Softwares.
 - Software de gestión de datos de equipos con memoria serie PowerVision.



Cuadro 5-10.- Software PowerVision. (Fuente: [18])

- Software de análisis y gráficos insignia de Onset para los registradores de datos HOBO.



Cuadro 5-11.- Software HOBOWare. (Fuente: [19])

- Cámara termográfica FLIR E6.



Cuadro 5-12.- Cámara termográfica FLIR E6. (Fuente: [20])

Todos estos materiales y aparatos descritos anteriormente han sido utilizados en el caso práctico durante dos meses, como ya se ha explicado. Esta parte de la auditoría pertenece a la toma de datos. Posteriormente, estos datos han sido extraídos a través de los softwares anteriormente mencionados a un ordenador. A continuación, los datos obtenidos han sido extrapolados a un año y tratados en diferentes hojas de cálculo, perteneciendo esta parte de la auditoría al análisis de datos.

La metodología de realización de la auditoría energética del caso práctico será detallada en el apartado correspondiente.

6. CASO PRÁCTICO.

En este apartado se va a desarrollar como se ha llevado a cabo una auditoría energética de una empresa industrial, llamada “Fundición, S.A.”.

Los datos utilizados para este supuesto están basados en un caso real, sin embargo, han sido modificados por motivos de confidencialidad.

6.1. INTRODUCCIÓN.

A continuación, se explican las diferentes etapas seguidas durante la realización de la auditoría energética en la empresa industrial “Fundición, S.A.”.

6.1.1. Presentación de la empresa.

“Fundición, S.A.” es una empresa situada en un Polígono Industrial, en Santander (Cantabria). Dicha empresa se dedica a la fundición de acero moldeado con gran experiencia, ya que permanece en el sector desde hace más de 15 años. Además, cuenta con aproximadamente 80 empleados. Estos empleados trabajan en tres turnos, manteniéndose la fábrica activa las 24 horas del día de lunes a domingo. Por este motivo siempre hay personal en planta, menos en las oficinas en las cuales se trabaja de lunes a viernes de 7:00 a 18:00.

“Fundición, S.A.” opera en diferentes sectores como el sector de la siderurgia, minería, energía, maquinaria, control de fluidos, naval, matricería, etc.

Esta empresa no tiene la obligación de realizar una auditoría energética. Sin embargo, la empresa realiza esta auditoría energética para intentar reducir costes, aumentar su eficiencia energética y analizar las posibilidades de introducción de energías renovables. La empresa también quiere ser fiel a su compromiso con el medio ambiente, debido a que las empresas del sector de la metalurgia, como es este caso, son grandes consumidoras de energía.

6.1.2. Objetivos.

La realización de una auditoría energética en “Fundición, S.A.” tiene como objetivo lograr una disminución del consumo energético obteniendo de esta forma una mejor eficiencia energética en sus servicios. No obstante, entre sus objetivos principales destacan los siguientes:

- Un análisis de la facturación energética, estudiando los conceptos más importantes de la misma: consumos de un año completo, potencia contratada, precios de los diferentes términos, consumos de energía reactiva, penalizaciones a tener en cuenta, etc.
- Un análisis del suministro eléctrico: evaluación de las pérdidas en los transformadores, armónicos, factor de potencia de la instalación, etc.
- Un desglose de los diferentes consumos energéticos con sus correspondientes costes en función de los diferentes servicios de la planta.

- Estudiar todas las instalaciones y máquinas presentes en la planta, como, por ejemplo, los sistemas de aire comprimido o la iluminación, desglosando sus patrones de comportamiento, analizando sus fallos y detectando sus mejoras.
- Estudiar la posible instalación de energía renovable.
- Valoración económica de todas las propuestas de mejora, observando su ahorro, la inversión y la amortización.

6.1.3. Alcance.

La auditoría energética realizada en “Fundición, S.A.” abarca todos los suministros eléctricos, circuitos de la planta, hornos de fusión, sistemas de aire comprimido, sistemas de refrigeración, instalaciones de iluminación, etc. En definitiva, un análisis detallado del uso de la energía de todos los componentes de la planta que realizan un consumo energético.

6.1.4. Metodología de trabajo.

En cuanto a la metodología de trabajo, para la realización de la auditoría energética en “Fundición, S.A.” se han seguido una serie de fases:

- Primero, se ha solicitado a la empresa una serie de datos y planos necesarios para la realización de la auditoría energética.
- Segundo, la empresa ha facilitado la facturación de sus suministros eléctricos para poder analizar los conceptos más importantes de la misma y realizar un estudio detallado.
- En tercer lugar, se han realizado una serie de campañas de mediciones en la planta para conocer sus consumos utilizando principalmente analizadores de redes. De esta manera, se puede conocer mejor el funcionamiento del consumo eléctrico de la planta respecto a solo mirar la facturación, conociendo cómo se comporta cada parte de la instalación.
- En cuarto lugar, a través de los datos obtenidos se han realizado diversos análisis.
- Por último, si se ha detectado un comportamiento inusual o fallo en alguna de las partes de la planta se ha intentado averiguar el origen del problema. Una vez localizado, se ha buscado una solución que sea lo más económica y eficiente para el problema. Es decir, a lo largo del presente documento se han detallado las propuestas de mejora que mejor se adaptan a “Fundición, S.A.” cotejando dichas medidas con ofertas de proveedores de equipos o instaladores para contar con precios reales. En estas medidas de mejora propuestas se han valorado la inversión, el ahorro económico, la amortización, el ahorro energético y el ahorro de emisiones de CO₂. Estas emisiones de CO₂ se han calculado suponiendo que son un 35% de la energía consumida [21].

6.2. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES.

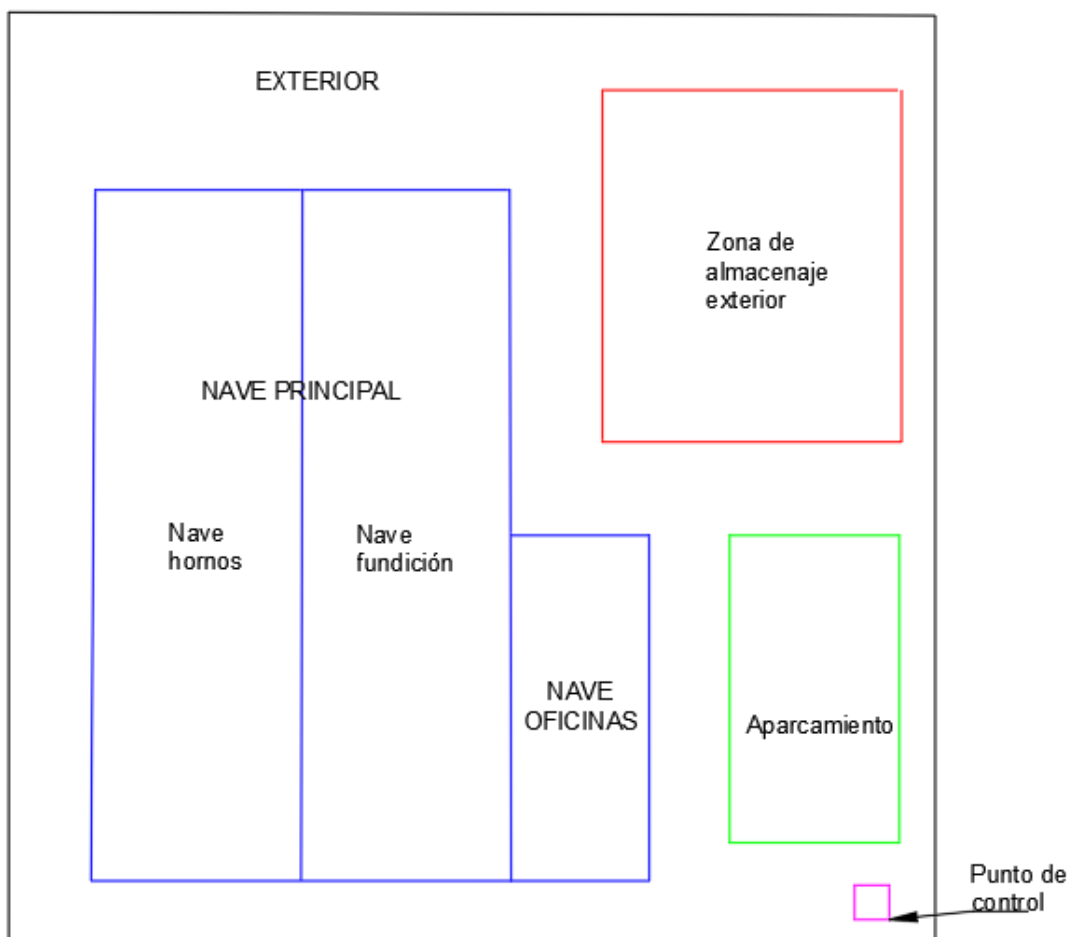
La planta de la empresa “Fundición, S.A.” tiene 4 zonas diferenciadas: oficinas, nave de fundición, nave de hornos y la zona exterior.

La superficie total perteneciente a la empresa es de aproximadamente 18.000 m², pero la superficie construida es de aproximadamente 9.000 m².

En la zona exterior de la planta, se encuentran principalmente los aparcamientos de los empleados, una zona de almacenaje exterior y el punto de control de acceso a las instalaciones.

Por otro lado, las oficinas son una pequeña nave anexa a la nave principal que cuenta en su interior con las siguientes zonas: Aseos, 3 despachos, laboratorio, zona común, sala de reuniones y zona de informática.

En la nave principal, se encuentra la zona de la nave de fundición y arena, y la zona de la nave de hornos. En esta última es donde se encuentran los tres hornos de la planta. En la nave hay además una oficina del taller, unos vestuarios, un comedor, un taller de mantenimiento, una sala en la que se encuentra el CGBT (Cuadro General de Baja Tensión) y una sala de transformadores.



Cuadro 6-1.- Croquis de las distintas zonas de la empresa. (Fuente: Elaboración propia)

6.3. ANÁLISIS DE LA FACTURACIÓN ENERGÉTICA.

En este apartado se detalla cómo se ha realizado el análisis de la facturación energética de la empresa “Fundición, S.A.”.

Primero, se aclararán varios conceptos energéticos, sin los cuales sería difícil la comprensión del análisis y, posteriormente, se analizarán las variables más importantes que estén implicadas para poder optimizarlas, así como las propuestas de mejora.

6.3.1. Tipos de suministros.

El tipo de tarifa que cada cliente tiene contratada es muy importante a la hora de que el suministro de energía sea correcto. Por otra parte, el tipo de tarifa contratada influye decisivamente en el importe de la factura de la electricidad.

Lo primero de todo, cuando un cliente quiere contratar la electricidad debe acogerse a las tarifas eléctricas del Mercado Energético, en el cual existen las siguientes opciones [22]:

1. Precio Voluntario al Pequeño Consumidor (PVPC). En esta opción el precio se calcula de dos formas diferentes dependiendo del tipo de contador del cliente. Si los clientes tienen contadores digitales se tiene precios variables hora a hora. Si por el contrario, los clientes tienen contadores analógicos, se establece un precio medio ponderado. A las compañías que ofrecen esta manera de contratar la electricidad se llaman comercializadoras de referencia. Solo se puede contratar este tipo de tarifas si la potencia contratada es inferior a 10 kW.
2. Precio fijo durante 12 meses en el Mercado Regulado. En este tipo de tarifas, el importe de la factura depende únicamente del nivel de consumo, puesto que el precio no depende de la evolución del mercado de la electricidad. Teniendo en cuenta una serie de condiciones estándar, cada comercializadora pacta un precio libremente. Dichas comercializadoras deben ofertar este tipo de tarifas como alternativa al PVPC. La ventaja de este tipo de facturas es que de antemano se sabe cuál será el precio de electricidad que vamos a pagar y el principal inconveniente de que suelen ser más caras y tienen una penalización si se da de baja antes de finalizar el contrato de un año.
3. La Contratación Bilateral en el Mercado Libre. En este tipo de tarifas el cliente contrata el suministro eléctrico con una comercializadora en el mercado libre pactando una serie de condiciones y precio.

6.3.2. Suministro en “Fundición, S.A.”.

En el caso de “Fundición S.A.”, nos encontramos con un contrato en el Mercado Libre. Se detalla, a continuación, las características de este tipo de suministro.

Las tarifas de Mercado Libre fueron creadas por el gobierno para permitir que los usuarios puedan decidir qué compañía eléctrica les suministra la electricidad y asegurando que las compañías puedan competir libremente con el precio de sus tarifas.

En el Mercado Libre todo depende de lo que se pacte con la comercializadora en el contrato. Por lo tanto, este tipo de contratos tienen una serie de cláusulas en las cuales hay unas condiciones, entre ellas se encuentra el tiempo de contrato. Debemos tener en cuenta las fechas marcadas para la renovación del contrato o prórroga del mismo. Sin embargo, la propia comercializadora será la encargada de avisar otra vez si se va a realizar algún cambio en las condiciones económicas u otro tipo de cambio en el contrato. Algunos de los aspectos claves en el contrato son la permanencia, la tarifa y las cláusulas de revisión de tarifas aplicables. Otros aspectos claves que se deben tener en cuenta son: las promociones aplicables y los servicios adicionales.

Por lo tanto, ¿qué cosas son las que hay que tener en cuenta a la hora de realizar un contrato con una comercializadora en el Mercado Libre? [23]:

1. La duración del contrato, que será la que nos marque el periodo de permanencia (generalmente anuales) y nos indique cual es el momento para proceder a su cancelación. El periodo de antelación para solicitar la cancelación también debe ser marcado. Deberá indicar además las penalizaciones que se tendrán en el caso de su cancelación antes de que haya finalizado el periodo de permanencia.
2. Las condiciones económicas del contrato: Las tarifas que se van a aplicar, así como si estas tienen un descuento asociado, sobre qué base se aplica y el tiempo. También se especificará si es una tarifa fija o variable. En el caso de que sea variable, se debe tener en cuenta cuales son los criterios con los que se revisa y de qué tipo son: Indexadas, mixtas, etc.

Todas las tarifas del Mercado Libre tienen dos términos fundamentales, en estos se descarga la gran parte del precio de la factura eléctrica: El término de facturación de potencia y el término de facturación de energía.

6.3.3. Término de facturación de potencia.

El término de facturación de potencia depende de la potencia contratada y la demanda por parte del cliente. Este término es aquel que forma parte de la parte fija a pagar en la tarifa de la electricidad:

$$\text{Término de potencia (€)} = \text{Precio potencia (€/kWh)} \times \text{Potencia a facturar (kW)}$$

La potencia a facturar la obtenemos a través de la potencia contratada y la demanda de potencia real de la instalación.

Principalmente las tarifas eléctricas se clarifican según la potencia que cada suministro eléctrico tiene contratada. Es decir, la potencia eléctrica es fundamental para saber qué tipo de tarifa se debe contratar.

Dependiendo de la potencia eléctrica contratada del suministro eléctrico, los clientes deben acogerse a un tipo de tarifa concreto.

A continuación, se muestra un gráfico resumen con todas las tarifas existentes en el Mercado Eléctrico:

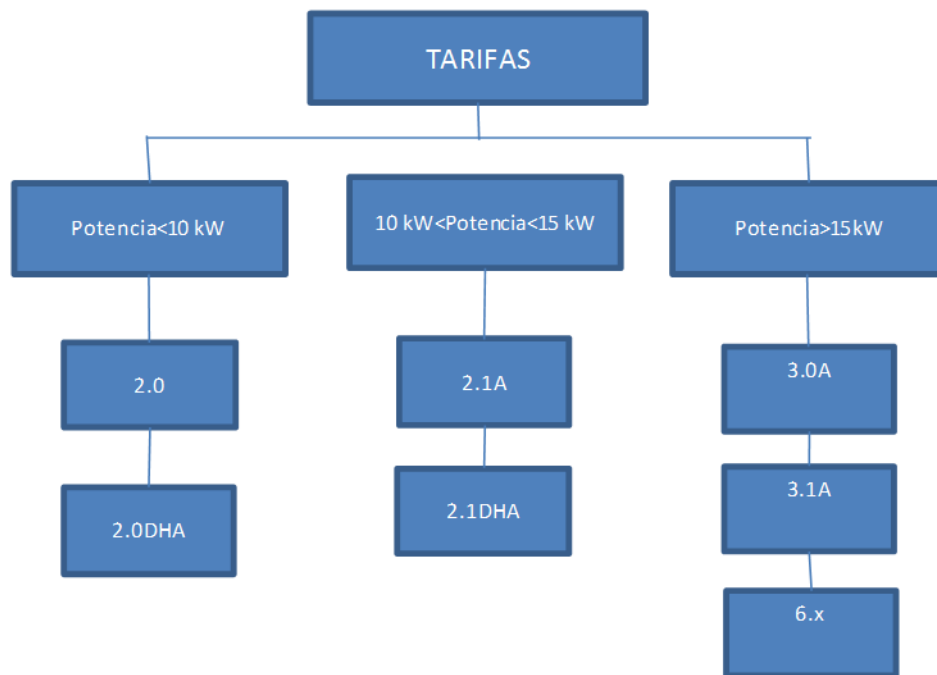


Gráfico 6-2.- Tipos de tarifas, según potencia. (Fuente: Elaboración propia)

En el gráfico observamos tarifas con las letras DHA, lo cual significa que cuentan con una discriminación horaria, se resume brevemente que significa esto:

El término “discriminación horaria” en las tarifas aparece a veces simbolizado en su nombre con DHA. Sin embargo, en los tipos de tarifa con más periodos no aparecerá así simbolizado puesto que tienen siempre diferentes periodos tarifarios, como en las tarifas 3.0A, 3.1A y 6.x.

Este tipo de tarifas son muy recomendables para aquellos consumidores que tengan unos hábitos muy controlados de consumo y donde la discriminación horaria les acaba saliendo rentable.

- Discriminación horaria en 2 periodos:

Los dos periodos se diferencian en P1 (Punta) y P2 (Valle). En las horas que se encuentran en el periodo 1 (horas punta) el precio del kWh es más caro. Por el contrario, en las horas que se encuentran en el periodo 2 (horas valle), el precio del kWh es más barato.

Las horas que dependen de cada periodo se diferencian dependiendo si nos encontramos en verano o en invierno.

Este es el horario de cada una [24]:

Periodo 1:

- En invierno, desde las 22:00h hasta las 12:00h.
- En verano, desde las 23:00h hasta las 13:00h.

Periodo 2:

- En invierno, desde las 12:00h hasta las 22:00h.
- En verano, desde las 13:00h hasta las 23:00h.

- Discriminación horaria en 3 periodos [25]:

Las tarifas con discriminación horaria en 3 periodos, cuentan con P1 (Punta), P2 (Llano) y P3 (Valle). Siendo P1 el periodo más caro y P3 el periodo más barato.

También se discrimina si es verano o invierno en las tarifas con tres periodos. Sin embargo, en la tarifa 3.1A también añaden un horario especial para los sábados, domingos o festivos. Los horarios son diferentes para la tarifa 3.0A y 3.1A [25]:

Estos horarios se expresan gráficamente en las tablas 6-2 y 6-3.

Un requisito indispensable que debemos tener en cuenta a la hora de contratar este tipo de tarifas (discriminación horaria) es que se debe instalar un contador digital, ya que son estos los que permiten calcular el consumo realizado en cada momento.

Sin embargo, en la mayoría de los casos conviene la contratación de una tarifa con discriminación horaria. Estas tarifas son muy importantes para los consumidores que demanden energía en las horas en las que el kWh es más barato, horas valle. Así todo se puede intentar adaptar los hábitos de consumo para que se cumpla lo anterior.

Una vez aclarado este término, podemos pasar a explicar resumidamente los diferentes tipos de tarifas:

Potencia contratada inferior a 10 kW:

Tarifa 2.0A: Tarifa de electricidad para aquellos suministros en Baja Tensión que tienen una potencia inferior o igual a 10 kW y sin discriminación horaria [25].

Tarifa 2.0DHA: Tarifa de electricidad para aquellos suministros en Baja Tensión que tienen una potencia inferior o igual a 10 kW y con discriminación horaria. Al tener discriminación horaria dividimos las horas en dos periodos: P1 (Punta) y P2 (Valle) [25].

Estos periodos tienen la siguiente distribución, únicamente se puede aplicar al sistema Peninsular:

Tabla 6-1.- Periodos de la tarifa 2.0DHA. (Fuente: Elaboración propia)

Horas	Invierno	Verano
De 0:00 a 1:00		
De 1:00 a 2:00		
De 2:00 a 3:00		
De 3:00 a 4:00		
De 4:00 a 5:00		
De 5:00 a 6:00		
De 6:00 a 7:00		
De 7:00 a 8:00		
De 8:00 a 9:00		
De 9:00 a 10:00		
De 10:00 a 11:00		
De 11:00 a 12:00		
De 12:00 a 13:00		
De 13:00 a 14:00		
De 14:00 a 15:00		
De 15:00 a 16:00		
De 16:00 a 17:00		
De 17:00 a 18:00		
De 18:00 a 19:00		
De 19:00 a 20:00		
De 20:00 a 21:00		
De 21:00 a 22:00		
De 22:00 a 23:00		
De 23:00 a 24:00		

PERIODO	COLOR
P1	
P2	

Potencia contratada superior a 10 kW:

- Potencia entre 10 y 15 kW:

Tarifa 2.1A: Tarifa de electricidad para aquellos suministros en Baja Tensión que tienen una potencia superior a 10 kW e inferior o igual a 15 kW y sin discriminación horaria. Son propias de pymes, comunidades de vecinos y casas grandes [25].

Tarifa 2.1DHA: Tarifa de electricidad para aquellos suministros en Baja Tensión que tienen una potencia superior a 10 kW e inferior o igual a 15 kW y con discriminación horaria. Tiene dos periodos, igual que la tarifa 2.0DHA. Son propias de pymes, comunidades de vecinos y casas grandes [25].

- Potencias superiores a 15 kW:

Tarifa 3.0A: Tarifa de electricidad para aquellos suministros en Baja Tensión que tienen una potencia superior a 15 kW en alguno de los periodos. Se divide en tres periodos: P1 (Punta), P2 (Llano) y P3 (Valle). Son propias de pymes, comunidades de vecinos, casas grandes y empresas [25].

Estos periodos tienen la siguiente distribución, únicamente aplicable al sistema Peninsular:

Tabla 6-2.- Periodos de la tarifa 3.0A. (Fuente: Elaboración propia)

Horas	Invierno	Verano
De 0:00 a 1:00		
De 1:00 a 2:00		
De 2:00 a 3:00		
De 3:00 a 4:00		
De 4:00 a 5:00		
De 5:00 a 6:00		
De 6:00 a 7:00		
De 7:00 a 8:00		
De 8:00 a 9:00		
De 9:00 a 10:00		
De 10:00 a 11:00		
De 11:00 a 12:00		
De 12:00 a 13:00		
De 13:00 a 14:00		
De 14:00 a 15:00		
De 15:00 a 16:00		
De 16:00 a 17:00		
De 17:00 a 18:00		
De 18:00 a 19:00		
De 19:00 a 20:00		
De 20:00 a 21:00		
De 21:00 a 22:00		
De 22:00 a 23:00		
De 23:00 a 24:00		

PERIODO	COLOR
P1	
P2	
P3	

- P1 (Punta): Periodo con 4 horas diarias.
- P2 (Llano): Periodo con 12 horas diarias.
- P3 (Valle): Periodo con 8 horas diarias.

Tarifa 3.1A: Tarifa de electricidad para aquellos suministros en Alta Tensión, es decir con más de 36 kV, que tienen una potencia igual o inferior a 450 kW. Ya que esta tarifa se divide en tres periodos: P1 (Punta), P2 (Llano) y P3 (Valle). Son propias de empresas [25].

Estos periodos tienen la siguiente distribución, únicamente aplicable al sistema Peninsular:

Tabla 6-3.- Periodos de la tarifa 3.1A. (Fuente: Elaboración propia)

Horas	Invierno	Verano	Fin de semana y festivo
De 0:00 a 1:00			
De 1:00 a 2:00			
De 2:00 a 3:00			
De 3:00 a 4:00			
De 4:00 a 5:00			
De 5:00 a 6:00			
De 6:00 a 7:00			
De 7:00 a 8:00			
De 8:00 a 9:00			
De 9:00 a 10:00			
De 10:00 a 11:00			
De 11:00 a 12:00			
De 12:00 a 13:00			
De 13:00 a 14:00			
De 14:00 a 15:00			
De 15:00 a 16:00			
De 16:00 a 17:00			
De 17:00 a 18:00			
De 18:00 a 19:00			
De 19:00 a 20:00			
De 20:00 a 21:00			
De 21:00 a 22:00			
De 22:00 a 23:00			
De 23:00 a 24:00			

PERIODO	COLOR
P1	
P2	
P3	

- P1 (Punta): Periodo con 6 horas diarias de lunes a viernes.
- P2 (Llano): Periodo con 10 horas diarias de lunes a viernes y con 6 horas los sábados, domingos o días festivos.
- P3 (Valle): Periodo con 8 horas diarias de lunes a viernes y 18 horas los sábados, domingos o días festivos.

Tarifa 6.x: Tarifa de electricidad para aquellos suministros en Alta Tensión en la cual hay seis periodos (P1, P2, P3, P4, P5 y P6). Son tarifas propias de empresas [26].

Estos periodos tienen la siguiente distribución, únicamente aplicable al sistema Peninsular:

Tabla 6-4.- Periodos de la tarifa 6.x. (Fuente: Elaboración propia)

Horas/Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Junio, primera quincena	Julio, segunda quincena	Octubre	Noviembre	Diciembre	Fin de semanas y festivos
De 0:00 a 1:00												
De 1:00 a 2:00												
De 2:00 a 3:00												
De 3:00 a 4:00												
De 4:00 a 5:00												
De 5:00 a 6:00												
De 6:00 a 7:00												
De 7:00 a 8:00												
De 8:00 a 9:00												
De 9:00 a 10:00												
De 10:00 a 11:00												
De 11:00 a 12:00												
De 12:00 a 13:00												
De 13:00 a 14:00												
De 14:00 a 15:00												
De 15:00 a 16:00												
De 16:00 a 17:00												
De 17:00 a 18:00												
De 18:00 a 19:00												
De 19:00 a 20:00												
De 20:00 a 21:00												
De 21:00 a 22:00												
De 22:00 a 23:00												
De 23:00 a 24:00												

PERIODO	COLOR
P1	
P2	
P3	
P4	
P5	
P6	

En el caso de “Fundición, S.A”, se cuenta con una tarifa 6.1A puesto que se discrimina en 6 periodos.

Todas las tarifas 6.x tienen como requisito que en al menos uno de sus periodos tengan contratada una potencia superior a 450 kW. Las tarifas 6.x se diferencian según su tensión de suministro [26]:

- La tarifa 6.1A es una tarifa destinada para niveles de tensión entre 1 y 30 kV.
- La tarifa 6.1B es una tarifa destinada para niveles de tensión entre 30 y 36 kV.
- La tarifa 6.2 se encuentra a niveles de tensión mayores o iguales a 36 kV e inferiores a 72,5 kV.
- La tarifa 6.3 se destina a niveles de tensión mayores e iguales a 72,5 kV e inferiores a 145 kV.
- La tarifa 6.4 es utilizada para niveles de tensión iguales o superiores a 145 kV.
- La tarifa 6.5 se encuentra en conexiones internacionales.

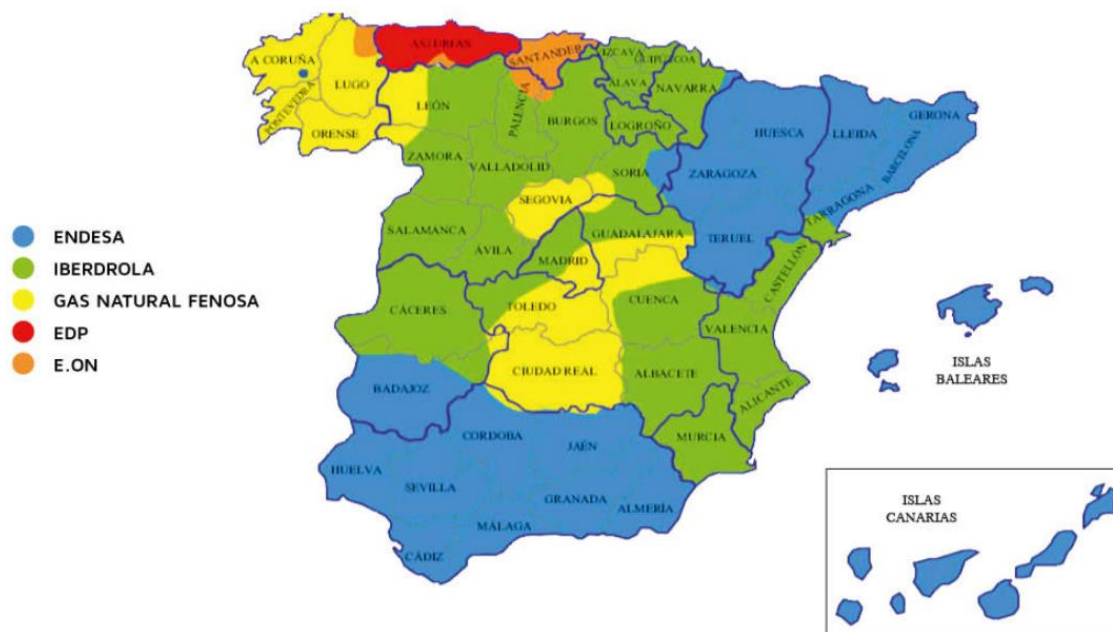
La tensión de suministro de “Fundición, S.A.” es de 12kV. Por lo tanto, cuenta con una tarifa 6.1A, como ya se ha comentado anteriormente.

Solicitamos a “Fundición, S.A.” las características de su contrato con la comercializadora y con la distribuidora. Para una mejor comprensión, se debe aclarar la diferencia entre comercializadora y distribuidora:

Empresa distribuidora: Una empresa distribuidora de energía eléctrica es aquella que lleva el suministro contratado a las viviendas o negocios, es decir, transportan la energía. Asimismo, una empresa distribuidora tiene las siguientes funciones [27]:

- Crear y mantener las infraestructuras necesarias para hacer llegar la energía eléctrica a los usuarios.
- Mantenimiento de la red eléctrica.
- Mantenimiento de los equipos de medida.
- Cuidado de la calidad del suministro eléctrico.
- Solucionar las incidencias o averías en la red eléctrica fuera de los inmuebles.
- Atender las solicitudes de las comercializadoras para dar de alta o baja un suministro, así como cambiar el titular.
- Ocuparse de la lectura de los contadores y enviarlas a la comercializadora.

El Gobierno es el encargado de establecer las compañías eléctricas según la zona geográfica, por lo tanto, los usuarios no tienen la oportunidad de elegir la entidad de abastecimiento. Hay cinco empresas distribuidoras de electricidad en España, como se recoge en el siguiente mapa:



Cuadro 6-2.- Empresas distribuidoras de electricidad en España en 2014. (Fuente: [28])

Por la situación geográfica de “Fundición, S.A.” su empresa distribuidora es “Viesgo Distribución”.

Empresa comercializadora: Una empresa comercializadora es la encargada de gestionar los contratos de electricidad y gas de los usuarios y es a la que estos abonan los recibos de energía. Su trabajo consiste en hacer llegar la electricidad a los usuarios tras haberla comprado en el mercado mayorista. Al contrario que con la distribuidora, en este caso los usuarios pueden elegir libremente que empresa comercializadora quieren. Las funciones de una empresa comercializadora son las siguientes [29]:

- Llevar el suministro eléctrico a los clientes y fijar las tarifas eléctricas.
- Facturar el servicio prestado según las lecturas que realizan las distribuidoras en el contador de cada usuario.
- Emitir las facturas de suministro de electricidad.
- Resolver dudas sobre la facturación.

Como se ha comentado anteriormente, “Fundición, S.A.” nos ha aportado las características de su contrato eléctrico con la comercializadora y con la distribuidora. La empresa distribuidora nos ha facilitado la curva de carga cuartohoraria, utilizada más adelante en el presente documento. Adicionalmente, la empresa industrial ha facilitado para este estudio la facturación del año 2018 y con la ayuda de dichas facturas se ha conseguido extraer los precios del Término de Potencia (€/kW contratado), los cuales están recogidos en la siguiente tabla:

Tabla 6-5.- Precios del Término de Potencia según periodo. (Fuente: Elaboración propia)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Potencia Contratada (kW)	900	900	900	2200	2200	2700
Precio Término Potencia (€/kW año)	22,1583	11,0888	8,1151	8,1151	8,1151	3,7026

Se puede comprobar que el precio del Término de Potencia es el mismo que el que marca el BOE.

A continuación, se explica cómo se factura la potencia en la tarifa 6.1A, siguiendo lo recogido en el RD 1164/2001 de 26 de octubre (BOE 08-11-2001) [30]:

Principalmente, la potencia a facturar en cada período tarifario será la potencia contratada. Sin embargo, en el caso de que la potencia demandada sobrepase en cualquier período horario la potencia contratada en el mismo, se procederá, además, a la facturación de todos y cada uno de los excesos registrados en cada período, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_{EP} = \sum_{i=1}^{i=6} K_i \times \text{Precio} \times A_{ei}$$

Donde:

- F_{EP} : Término de facturación de los excesos de potencia (€).
- Precio: Precio del kW (€/kW).
- K_i : Coeficiente que tomará los siguientes valores dependiendo del período tarifario i :

Tabla 6-6.- Valores de K_i dependiendo del periodo tarifario. (Fuente: [13])

Período	1	2	3	4	5	6
K_i	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17

- A_{ei} = se calculará de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$A_{ei} = \sqrt{\sum_{j=1}^{j=n} (Pd_j - Pci)^2}$$

Donde:

- Pd_j : Potencia demandada en cada uno de los cuartos de hora del período i en que se haya sobrepasado Pci (kW).
- Pci : Potencia contratada en el período i en el período considerado (kW).

Los excesos de potencia se facturarán mensualmente.

6.3.4. Término de facturación de energía.

El término de facturación de Energía es el término que depende de la energía consumida la cual es medida a través del contador. Su fórmula es la siguiente:

$$\text{Término de Energía (€)} = \text{Precio de Energía (€/kWh)} \times \text{Energía consumida (kWh)}$$

Por otro lado, existen dos formas principales de poder facturar la energía eléctrica en el mercado eléctrico [31]:

Precio fijo:

El precio fijo es aquella forma en la que el usuario paga una cantidad pactada con la comercializadora por cada kWh consumido. Esta forma es la más común de las dos.

- **Ventajas:**
Se paga un precio fijo, el cual se sabe con antelación, durante un periodo determinado (generalmente un año), incluso si el gobierno varía alguno de los términos regulados (por ejemplo, los peajes de acceso). Se puede usar la electricidad siempre de la misma manera y no hay que estar pendiente de las variaciones del mercado eléctrico. Gracias a esta tarifa se puede saber de una manera bastante fiable el gasto económico que vamos a tener de energía. También, la factura es más sencilla que las del precio indexado.
- **Inconvenientes:**
Suelen ser más caras que las que tienen un precio indexado, ya que, las comercializadoras dejan un margen debido a que el mercado eléctrico es muy variable. Además, tener un precio fijo supone una permanencia, generalmente un año. Estos precios fijos suponen servicios extra que encarecen la factura eléctrica, como podrían ser los costes de mantenimiento.

Precio indexado:

El contrato indexado o pool es en el cual el usuario paga el precio que marca en cada hora el mercado mayorista OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía), la energía consumida (kWh) durante esa hora se paga al precio que marca el mercado en ese momento. Los precios dependen únicamente del OMIE, no de la comercializadora, el OMIE es quien los establece a través de la oferta y la demanda a nivel nacional.

- **Ventajas:**
No suelen implicar permanencia. Además, es una buena forma de facturación si se tiene un contador que pueda enviar lecturas hora a hora, que la comercializadora pueda facturar con precios hora a hora y que la distribuidora facilite las lecturas hora a hora a la comercializadora, lo cual no siempre se cumple. También, se puede llegar a ahorrar aproximadamente un 20% en el precio de la energía.
- **Inconvenientes:**
Si el contador con el que se cuenta en el suministro no es capaz de enviar lectura hora a hora, la comercializadora aplicará un “indexado a medias”, lo que se llama perfil estándar, el cual está basado en la media del consumo de todo el país. Otro inconveniente es que no se puede controlar el precio, sin importar como se consuma, hay muchas variables de las cuales depende el precio: cambios políticos, cambios meteorológicos, etc. Por lo tanto, aunque se obtiene un

ahorro a largo plazo, a corto plazo puede haber incrementos significativos en el precio. Por último, las facturas son más complejas porque cuentan con muchos precios y variables diferentes.

Se debe añadir que, si se compra la energía indexada al pool, se paga el precio que marca el mercado mayorista OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía) cada hora.

En las siguientes gráficas obtenidas en la página web de “Red Eléctrica de España” [32] se puede observar la diferencia de precio de los diferentes tipos de mercados a diferentes horas (7:00-13:00-18:00):

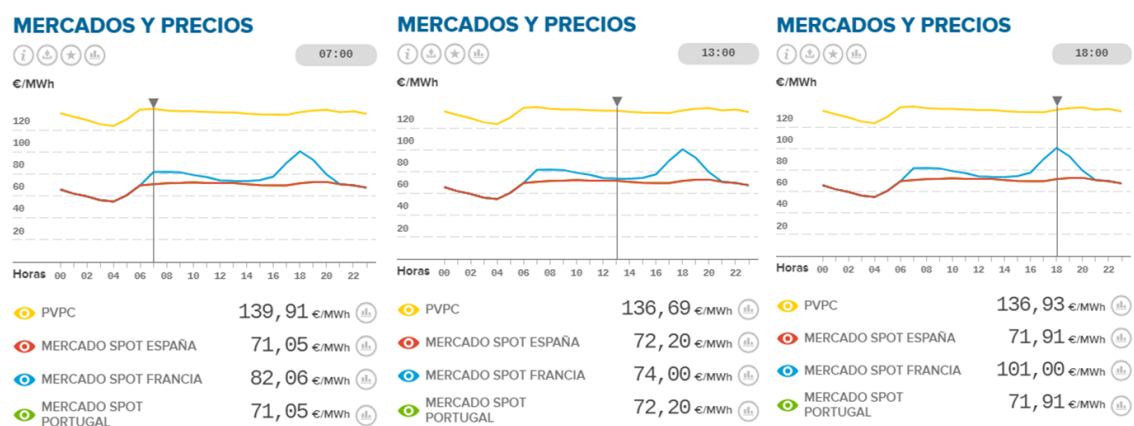


Gráfico 6-3.- Precios del mercado eléctrico a diferentes horas del día. (Fuente: [32])

OMIE gestiona el mercado al por mayor (al contado o “spot”) de electricidad en la Península Ibérica, como hemos explicado anteriormente, y este es el único que establece el precio en función de la oferta y la demanda nacional. En la página web de OMIE [33] se puede obtener una gráfica con el precio diario del mercado:

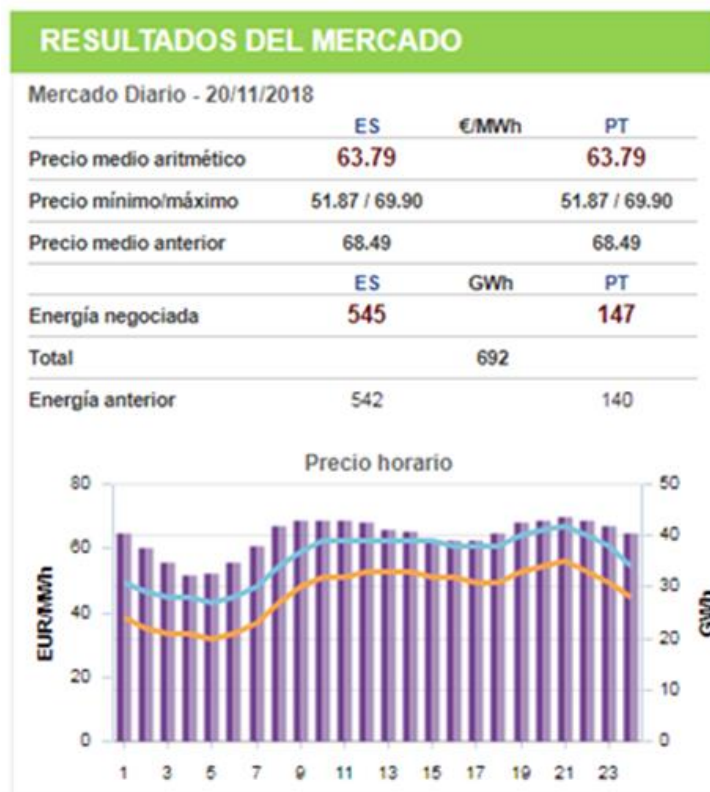


Gráfico 6-4.- Precio diario del mercado eléctrico. (Fuente: [33])

Si tenemos en cuenta que nuestro objetivo principal, es conseguir la facturación más óptima, una facturación con precio indexado es la mejor elección, el ahorro a largo plazo es muchísimo mayor que con un precio fijo y el riesgo es mínimo. Sin embargo, en “Fundición, S.A.” se desea conocer de antemano el precio que se va a pagar anualmente por la electricidad. Los precios del término de energía vendrán dados por la comercializadora. A través de los datos aportados en las facturas de “Fundición, S.A.” observamos el precio medio del Término de Energía:

Tabla 6-7.- Precios del Término de Energía según periodo. (Fuente: Elaboración propia)

	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Potencia Contratada (kW)	900	900	900	2200	2200	2700
Precio Medio Término Energía (€/kWh año)	0,1145	0,1014	0,0872	0,0790	0,0633	0,0541

6.3.5. Consumo del año 2018 de “Fundición, S.A.”

Gracias a las facturas facilitadas por la empresa hemos podido obtener la siguiente tabla en la que se recogen el consumo mensual:

Tabla 6-8.- Datos generales del consumo de energía activa. (Fuente: Elaboración propia)

Mes	P1 (kWh)	P2 (kWh)	P3 (kWh)	P4 (kWh)	P5 (kWh)	P6 (kWh)	Consumo mensual TOTAL (kWh)	Consumo medio diario
Enero	95271	215464	0	0	0	363475	674210	21748,71
Febrero	91815	197554	0	0	0	289934	579303	20689,393
Marzo	0	0	93442	154695	0	235622	483759	15605,129
Abril	0	0	0	0	179264	306330	485594	16186,467
Mayo	0	0	0	0	326039	416756	742795	23961,129
Junio	58363	59903	43625	103776	0	495042	760709	25356,967
Julio	191379	118645	0	0	0	508345	818369	26399
Agosto	0	0	0	0	0	547764	547764	17669,806
Septiembre	0	0	93489	229131	0	489135	811755	27058,5
Octubre	0	0	0	0	349131	482705	831836	26833,419
Noviembre	0	0	87529	188297	0	341131	616957	20565,233
Diciembre	59134	100311	0	0	0	345088	504533	16275,258
							7857584	21527,627

El consumo total del año 2018 fue de **7.857.584 kWh**.

En el siguiente gráfico, se representa el consumo medio diario, siendo el consumo promedio diario del año 2018 de **21.527,63 kWh**.

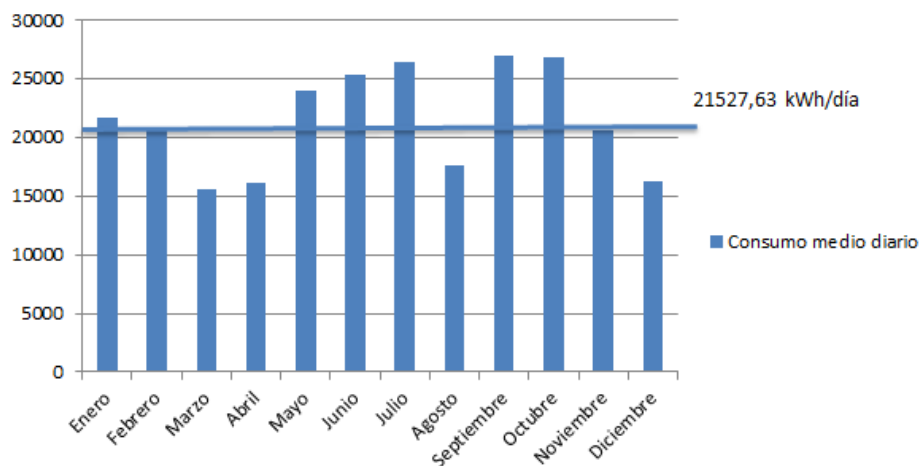


Gráfico 6-5.- Consumo medio diario- energía activa por mes en el año 2018 en “Fundición, S.A.”. (Fuente: Elaboración propia)

A través de estos datos, se puede sacar el reparto de consumos para cada periodo:

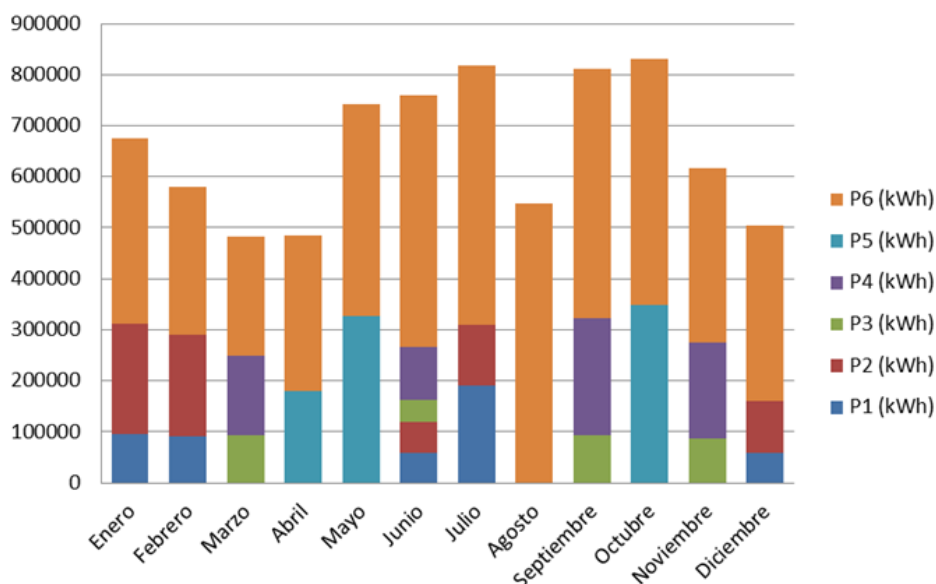


Gráfico 6-6.- Reparto por consumos mensuales de la energía activa consumida. (Fuente: Elaboración propia)

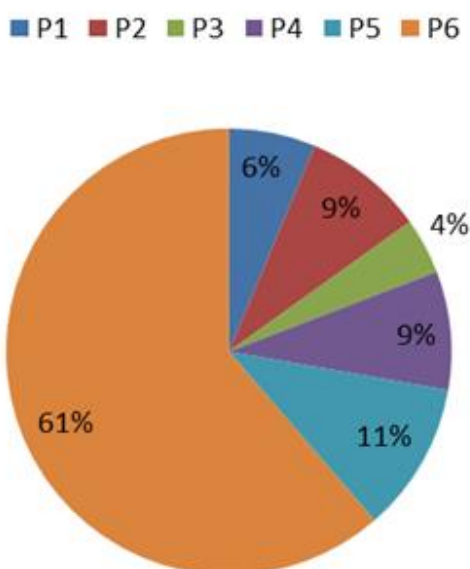


Gráfico 6-7.- Reparto de los porcentajes de consumo anual por periodos. (Fuente: Elaboración propia)

El **61%** del consumo energético facturado en la empresa durante el año 2018 corresponde al periodo 6, lo cual es bueno ya que es el periodo que se factura con un precio menor. Las empresas que tienen un fuerte consumo de energía eléctrica planifican los trabajos para que la mayor parte de estos se realicen en el periodo 6 consiguiendo la energía más barata.

6.3.6. Propuesta de mejora: Optimización de potencia.

La potencia contratada juega un papel fundamental en el ahorro energético.

Resumiendo, la información que tenemos hasta ahora: “Fundición, S.A” cuenta con una tarifa 6.1A, siendo su tensión de suministro de 12 kV. Según este tipo de tarifas se debe tener al menos en alguno de los periodos una potencia contratada superior a 450 kW. Además, tenemos la siguiente potencia contratada en cada periodo:

Tabla 6-9.- Potencias contratadas actuales para cada periodo. (Fuente: Elaboración propia)

Periodo	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Potencia actual	900	900	900	2200	2700	3500

Anteriormente, se ha detallado el modo de facturación del término de potencia. Así, podemos establecer que uno de los principales motivos por los cuales pagaríamos más de lo que deberíamos sería tener penalizaciones por consumir más energía que la que deberíamos, o bien por tener contratada mucha más potencia de la necesaria. Por lo tanto, cuidando estos dos aspectos se procede a optimizar la potencia contratada por la instalación.

Realizamos el estudio de optimización de potencia teniendo como referencia la curva de carga cuartohoraria del año 2018. Como ya se ha explicado, esta curva cuartohoraria ha sido proporcionada por la empresa distribuidora de electricidad de “Fundición, S.A.”. Esta curva cuartohoraria contiene las lecturas de la energía consumida en kWh registrada cada 15 minutos durante un año entero.

Tabla 6-10.- Fragmento de los datos aportados por la curva cuartohoraria. (Fuente: Elaboración propia)

Datos aportados		
Fecha	Hora	Energía (kWh)
01/01/2018	0:15	7
01/01/2018	0:30	7
01/01/2017	0:45	6
01/01/2018	1:00	7
01/01/2018	1:15	7
01/01/2018	1:30	7
01/01/2018	1:45	7
01/01/2018	2:00	6
01/01/2018	2:15	6
01/01/2018	2:45	7

Esta energía se ha transformado en potencia (kW) y se han clasificado según el periodo al que pertenecían de la tarifa 6.1A en una hoja de cálculo.

Tabla 6-11.- Fragmento de los datos necesarios calculados con la hoja de cálculo de la curva cuartohoraria.
(Fuente: Elaboración propia)

Datos aportados		Datos necesarios	
Fecha	Hora	Periodo	Potencia cuarto horaria (kW)
01/01/2018	0:15	6	28
01/01/2018	0:30	6	28
01/01/2017	0:45	6	24
01/01/2018	1:00	6	28
01/01/2018	1:15	6	28
01/01/2018	1:30	6	28
01/01/2018	1:45	6	28
01/01/2018	2:00	6	24
01/01/2018	2:15	6	24
01/01/2018	2:45	6	28

Posteriormente, se han discriminado los excesos de potencia contratada y se ha calculado el coste de las penalizaciones por exceso de potencia por periodo y en total, aplicando las fórmulas correspondientes.

Tabla 6-12.- Pago por exceso de demanda de potencia contratada en la situación inicial. (Fuente: Elaboración propia)

PAGOS POR EXCESO DE DEMANDA DE POTENCIA CONTRATADA						
Periodo	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Valores Ki	1	0,5	0,37	0,37	0,37	0,17
Factor (€/kW)	1,4064	1,4064	1,4064	1,4064	1,4064	1,4064
(Exceso de potencia) ²	11282016	720015696	7077056	19256496	3916960	11909424
Pago por exceso(€)	4.723,92 €	18.869,04 €	1.384,32 €	2.283,49 €	1.029,88 €	825,09 €

Pago por exceso de demanda de potencia contratada:	29.115,74 €
--	-------------

Simultáneamente se calcula el precio de potencia de cada periodo y en total.

Tabla 6-13.- Pago de potencia contratada (sin impuesto eléctrico, IE) en la situación inicial. (Fuente: Elaboración propia)

PAGO DE POTENCIA CONTRATADA (sin IE)						
Periodo	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Precio Término Potencia (€/kW año)	22,1583	11,0888	8,1151	8,1151	8,1151	3,7026
Potencia a facturar anual TOTAL (kW/año)	900	900	900	2200	2700	3500
Precio Término Potencia (€)	19.942,51 €	9.979,89 €	7.303,62 €	17.853,29 €	21.910,86 €	12.959,27 €

Pago de potencia contratada (sin IE):	89.949,45 €
---------------------------------------	-------------

La suma del precio de potencia sin penalizaciones y el coste del exceso de penalizaciones nos daría el precio total de la potencia de la instalación con esa determinada potencia.

Tabla 6-14.- Pago total (sin IE) en la situación inicial. (Fuente: Elaboración propia)

PAGO TOTAL (sin IE)							
Periodo	P1	P2	P3	P4	P5	P6	TOTAL
	24.666,43 €	28.848,93 €	8.687,94 €	20.136,79 €	22.940,74 €	13.784,36 €	119.065,19 €

Con todo esto, se realizan varias iteraciones con diferentes alternativas para conseguir que el coste sea mínimo en cada periodo, estas se pueden observar en la siguiente tabla. En este caso, solo realizamos variaciones de potencia en los periodos del 1 al 5 debido que el periodo 6 se va a dejar con la potencia actual, de esta manera se evita pagar en un futuro los derechos de extensión, acceso y enganche si se deseará aumentar otra vez la potencia.

A continuación, se representa una tabla con diferentes propuestas, marcando en naranja la situación actual y en verde la situación propuesta:

Tabla 6-15.- Propuestas de potencia a contratar. (Fuente: Elaboración propia)

CASOS	POTENCIA						PRECIO						
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P1	P2	P3	P4	P5	P6	TOTAL
1	900	900	900	2200	2700	3500	24.666,43 €	28.848,93 €	8.687,94 €	20.136,79 €	22.940,74 €	13.784,36 €	119.065,19 €
2	1000	1000	1000	2200	2700	3500	25.614,93 €	28.781,93 €	9.132,05 €	20.136,79 €	22.940,74 €	13.784,36 €	120.390,81 €
3	850	1000	800	1800	2000	3500	24.468,30 €	28.781,93 €	8.481,61 €	19.725,72 €	20.907,36 €	13.784,36 €	116.149,30 €
4	850	900	800	1500	1950	3500	24.468,30 €	28.773,91 €	8.481,61 €	19.642,90 €	20.905,32 €	13.784,36 €	116.056,42 €
5	850	1050	850	1500	2000	3500	24.468,30 €	28.773,91 €	8.545,10 €	19.642,90 €	20.907,36 €	13.784,36 €	116.121,96 €

La potencia propuesta a contratar es la más económica (color verde de la tabla), manteniendo fijo el periodo 6.

Los precios anteriores son sin tener en cuenta el Impuesto Eléctrico. Para calcular el precio de la potencia anual se realiza con la siguiente fórmula:

$$\text{Coste de la Potencia al año} = P1 \times T_{P1} + P2 \times T_{P2} + P3 \times T_{P3} + P4 \times T_{P4} + P5 \times T_{P5} + P6 \times T_{P6}$$

Donde:

- P: Potencia contratada en ese periodo (kW).
- T_P: Precio del término de potencia de ese periodo (€/kW).

Observamos la mejor alternativa, es decir, la potencia óptima para cada periodo es:

Tabla 6-16.- Potencias propuestas para cada periodo. (Fuente: Elaboración propia)

Periodo	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Potencia propuesta	850	900	800	1500	1950	3500

Por otro lado, hemos calculado cual sería el precio final aplicando el impuesto eléctrico. Como recoge la ley 28/2014 del 1 de enero de 2015 [34], al realizar la empresa “Fundición, S.A” procesos metalúrgicos, tiene derecho a la reducción del 85% de la Base

Imponible del Impuesto Eléctrico. Del consumo de la empresa, el 92% se destina a procesos metalúrgicos, el otro 8% no, por lo tanto, este último no tendría derecho a la reducción de la Base Imponible del Impuesto eléctrico.

Por lo tanto, estos serían los precios aplicando el Impuesto Eléctrico correspondiente, como se ha explicado:

Tabla 6-17.- Coste de la potencia en la situación actual y en la propuesta. (Fuente: Elaboración propia)

POTENCIA ACTUAL	
Precio de la potencia (sin IE):	119.065,19 €
Precio de la potencia (con IE):	119.112,79 €
POTENCIA PROPUESTA	
Precio de la potencia (sin IE):	116.056,42 €
Precio de la potencia (con IE):	116.102,82 €

Además, se debe de tener en cuenta que se cobrarán los derechos de enganche por reajustar la potencia anterior que vienen establecidos en la Orden ITC/3519/2009, de 28 de diciembre [35], fijándose para alta tensión entre 36 kV y 75,5 kV en **266,96 euros**.

Si se realiza esta propuesta de mejora, **se ahorrarían 3.009,97 euros más IVA** al año en “Fundición, S.A”.

Tabla 6-18.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO2/año)
Optimización de potencia de la instalación	266,96 €	3.009,97 €	0,1	-	-

6.3.7. Consumo de energía reactiva.

Toda instalación industrial tiene consumo de energía reactiva. La energía reactiva se define como aquella energía que se produce en las instalaciones eléctricas por las cargas inductivas presentes en aparatos que necesitan crear campos magnéticos y eléctricos para su correcto funcionamiento como son los transformadores, lámparas de descarga, fluorescentes, etc. [36].

Por lo tanto, para que la carga del aparato funcione se necesita una corriente magnetizante que solo es posible a través de la potencia reactiva (kVar), con la suma de esta con la potencia activa (kW) obtendríamos la potencia total demandada por estos aparatos, la potencia aparente (kVA).

En el siguiente dibujo se observa su relación:



Cuadro 6-3.- Triángulo de potencias. (Fuente: Elaboración propia)

Vemos que la potencia activa y la potencia reactiva se encuentran relacionadas a través del $\cos \phi$, también llamado factor de potencia [37].

$\cos \phi = \text{Potencia activa} / \text{potencia aparente} = \text{Potencia activa} / \sqrt{(\text{potencia activa}^2 + \text{potencia reactiva}^2)}$

En este caso en concreto, al tratarse de una tarifa 6.1, la distribuidora penaliza aquellos consumos en los que hay exceso de energía reactiva, esto se produce cuando la energía reactiva supera el 33% de la energía activa en los periodos del 1 al 5, no en el periodo 6, es decir, con un $\cos \phi$ menor de 0,95 inductivo. El precio que se aplica en el recargo de la factura por el exceso del consumo de energía reactiva es independiente de la tarifa que se tenga contratada, ya que viene fijado por el valor del $\cos \phi$. Esta penalización viene contemplada en el BOE, en la orden ITC 1723/2009 [35].

Además, cuanto menor sea el $\cos \phi$, más caro resultará el término de energía reactiva (€/kVAr). Los precios que se aplican vienen recogidos en la Orden ITC/688/2011 [38]:

- Si el $\cos \phi$ es inferior a 0,95 y, superior o igual a 0,80 su precio es 0,041554 €/kVArh.
- Si el $\cos \phi$ es inferior a 0,80 su precio es 0,062332 €/kVArh.

Observamos en la siguiente gráfica y tabla el factor de potencia mensual de las instalaciones de “Fundición, S.A” del año 2018:

Tabla 6-19.- Cos ϕ mensual. (Fuente: Elaboración propia)

Mes	Consumo mensual (kWh)	Consumo mensual (kVarh)	Cos ϕ
Enero	674210	189254	0,9627876
Febrero	579303	143842	0,9705291
Marzo	483759	141080	0,9600087
Abril	485594	174899	0,9408348
Mayo	742795	211833	0,9616586
Junio	760709	224364	0,9591515
Julio	818369	224358	0,964414
Agosto	547764	162962	0,9584822
Septiembre	811755	243150	0,9579485
Octubre	831836	249201	0,9579371
Noviembre	616957	177855	0,9608706
Diciembre	504533	153246	0,9568362
	7857584	2296044	0,9598604

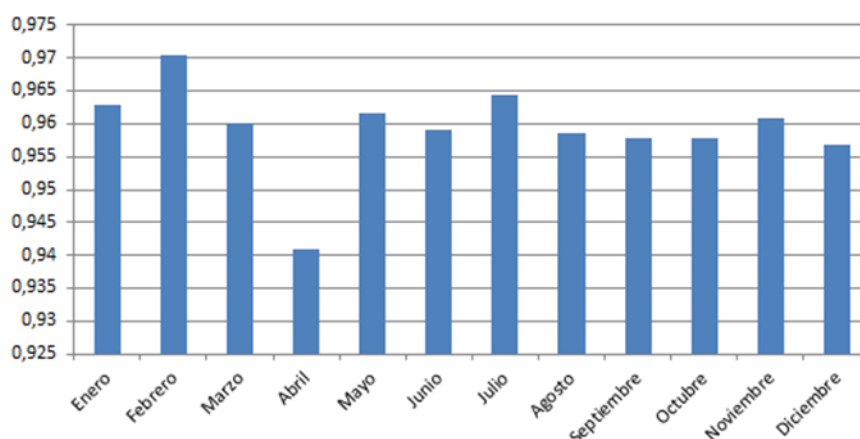


Gráfico 6-8.- Cos ϕ mensual. (Fuente: Elaboración propia)

Estos datos nos muestran que todos los meses tienen un cos ϕ superior a 0,95 con excepción del mes de abril cuyo cos ϕ es 0,9408. La forma más fácil de eliminar el coste por consumo de energía reactiva es compensarla a través de una batería de condensadores, en las instalaciones de “Fundición, S.A.” ya se cuenta con ella. Sin embargo, el mes de abril se trata de una anomalía, este se ha pagado por las penalizaciones por consumo de energía reactiva.

Primero, calculamos en ese mes cual es el exceso de energía reactiva, a través de la siguiente fórmula [39]:

$$\begin{aligned} \text{Exceso de energía reactiva} &= \text{Energía reactiva (kVarh)} - (0,33 \times \text{Energía activa (kWh)}) = \\ &= 174.899 \text{ kVarh} - (0,33 \times 485.594 \text{ kWh}) = 14.652,98 \text{ kVarh} \end{aligned}$$

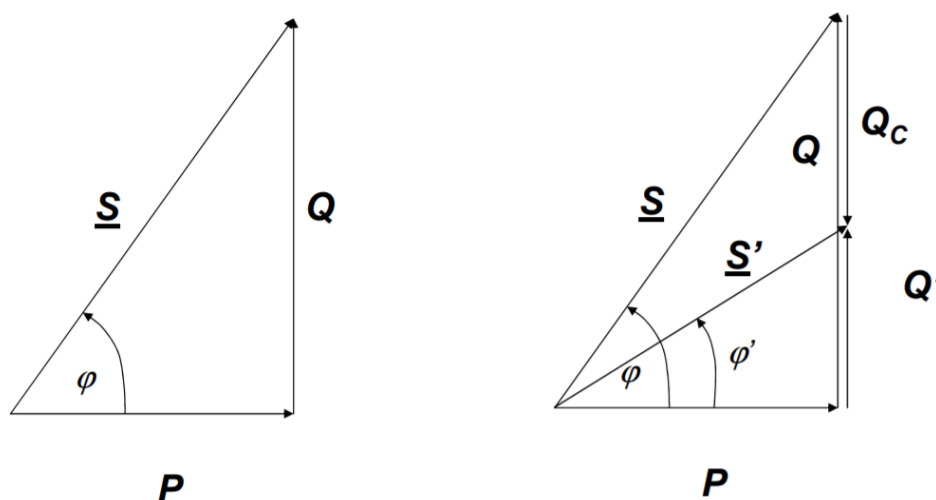
Segundo, calculamos con el término regulado de energía reactiva la facturación de energía reactiva (€):

$$\begin{aligned}\text{Facturación de energía reactiva (€)} &= \text{Exceso de energía reactiva (kVArh)} \times \text{Término} \\ &\text{regulado de energía reactiva (€/kVArh)} = 14.652,98 \text{ kVArh} \times 0,041554 \text{ €/kVArh} = \\ &608,89 \text{ €}\end{aligned}$$

Es decir, el consumo de energía reactiva extra ha supuesto en el mes de abril un recargo por energía reactiva de **608,89 €**.

6.3.8. Propuesta de mejora: Ajuste por batería de condensadores.

Como se ha podido observar anteriormente, en el año 2018 hubo recargos por consumo de energía reactiva en el mes de abril. Para evitar este tipo de incidencias se considera que lo mejor sería cambiar la configuración de la batería de condensadores. El efecto que tendría ese cambio en la configuración de la batería de condensadores sería similar al mostrado a continuación:



Cuadro 6-4.- Diagrama del principio de compensación. (Fuente: [40])

Donde:

- S: Potencia aparente (VA).
- Q: Potencia reactiva (VAr).
- P: Potencia activa (W).
- ϕ : Ángulo, $\cos \phi$.
- Q_c : Potencia reactiva compensada (VAr).
- Q' : Nueva potencia reactiva (VAr).
- S' : Nueva potencia aparente (VA).
- ϕ' : Nuevo ángulo, $\cos \phi'$.

A través del cambio del factor de potencia ($\cos \phi$), como se muestra en la imagen, la energía reactiva disminuye gracias a los condensadores (Q_c). Manteniéndose constante la energía activa.

En este cambio se ajustaría el factor de potencia de la batería, subiendo su valor de 0,96 (así se encuentra en la actualidad) a 1. A través de esta mejora, conseguiríamos eliminar

las penalizaciones por consumo de energía reactiva, que, según los datos del año 2018, permitiría ahorrar **608,89€ anuales**.

Tabla 6-20.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO2/año)
<i>Eliminación de energía reactiva por reajuste en la batería de condensadores</i>	-	608,89 €	-	-	-

6.4. REPARTO DE CONSUMO ENERGÉTICO EN PLANTA.

En la realización de una auditoría energética es fundamental conocer el reparto de consumos energéticos de la instalación. Sobre todo, en este caso al tratarse de una empresa industrial dedicada a la fundición que cuenta con un gran consumo energético debido a los procesos llevados a cabo en ella. Conocer que partes de la planta consumen más energía es prioritario para poder centrar el estudio en esas partes, proponiendo mejoras para un consumo más eficiente. De esta manera, se intentará ahorrar energética y económicamente, reduciendo también las emisiones de gases perjudiciales para el medioambiente.

Mediante las facturas eléctricas cedidas por “Fundición, S.A.”, podemos observar que anualmente la empresa consume **7.857.584 kWh**.

Por otro lado, se han instalado analizadores de redes en los circuitos de la instalación de las diferentes zonas de la planta, midiendo con estos su consumo en las diferentes partes durante los meses de julio y agosto de 2018. Observando estos consumos junto con el comportamiento de la planta en esos meses, se realiza una extrapolación para obtener el consumo anual.

En la siguiente tabla se muestran los consumos que realizan cada una de las partes de la planta con el porcentaje del reparto de la energía.

Tabla 6-21.- Reparto de consumo energético en planta. (Fuente: Elaboración propia)

Zona	Consumo energético (kWh)	Reparto del consumo
Oficinas	236.924	3,02%
Hornos de fusión	6.059.389	77,12%
Refrigeración de los hornos de fusión	511.530	6,51%
Pérdidas en los trafos	120.582	1,53%
Aire comprimido	389.851	4,96%
Iluminación	166.286	2,12%
Otras máquinas	373.022	4,75%
TOTAL	7.857.584	100,00%



Gráfico 6-9.- Reparto del consumo energético en planta. (Fuente: Elaboración propia)

Observando tanto la tabla como el gráfico se puede comprobar que la parte que más peso tiene en el reparto de consumo son los **hornos de fusión** con un **77,12%** del total de la planta, esto se debe a la gran cantidad de energía que demandan para realizar los procesos de fundición. Adicionalmente es la actividad principal de la empresa, al estar en funcionamiento la planta las 24 horas al día se realizan un gran número de coladas en los hornos. Debido al gran peso que tienen los hornos en el consumo total de “Fundición, S.A.” van a ser estudiados en los siguientes apartados del presente documento con gran detalle, intentando reducir al máximo de una manera eficiente dicho consumo.

Si analizamos más en profundidad el reparto de consumos de los hornos de fusión, podemos observar que horno tiene más consumo de todos. La planta cuenta con 3 hornos de fusión: H1, H2 y H3, estos hornos serán descritos en el apartado llamado “Hornos de fusión”. Los hornos 2 y 3 les analizaremos conjuntamente puesto que comparten el mismo grupo de inducción.

Tabla 6-22.- Reparto de consumo energético en los hornos de fusión. (Fuente: Elaboración propia)

Horno	Consumo energético (kWh)	Reparto del consumo
Horno 1	4.169.577	68,81%
Horno 2 y 3	1.889.812	31,19%
TOTAL	6.059.389	100,00%

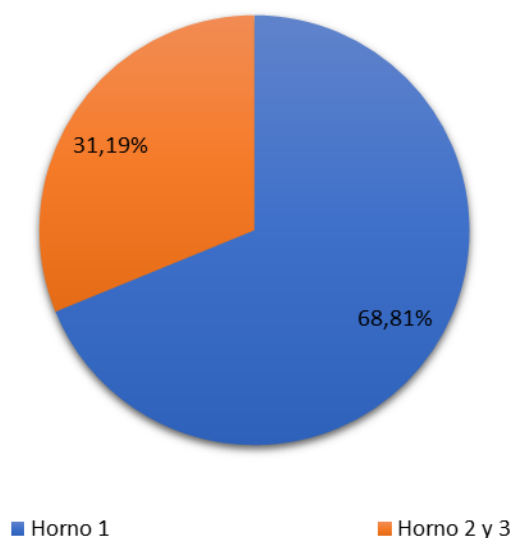


Gráfico 6-10.- Reparto del consumo energético en los hornos de fusión. (Fuente: Elaboración propia)

Sin lugar a dudas, el **horno 1** es el horno que más consume de los 3 de la planta con un **68,81%** del consumo total de los hornos de fusión y un **53,06%** del consumo total de la planta.

Por otro lado, otra parte que tiene un consumo considerable en “Fundición, S.A.” es la **refrigeración de los hornos de fusión** con un **6,51%** y el **aire comprimido** con un **4,96%**. Ambos analizados más adelante en el presente documento.

La siguiente zona con más consumo sería la que correspondería en la tabla y el gráfico del reparto del consumo energético en planta como “**otras máquinas**”. Es inviable analizar el consumo de esta parte puesto que engloba muchas máquinas utilizadas en la planta como amoladoras o taladros de poca potencia, que individualmente tienen un consumo despreciable, pero en conjunto suponen un **4,75%** del consumo total.

Luego, las **oficinas** tienen un consumo del **3,02%**, esto se debe principalmente a que en ellas se cuenta con un pequeño laboratorio en el que se realizan ensayos con equipos de medida. Además, las oficinas cuentan con ordenadores, servidor, equipos de climatización, etc. En este caso tampoco se va a estudiar en detalle este consumo, porque además de no ser representativo (menos de un 5%), las oficinas cuentan con bastantes equipos consumidores de energía, como hemos explicado.

Por último, la **iluminación** consume un **2,12%** y las **pérdidas de los trafos** representan un **1,53%**. Estas dos zonas si serán explicadas en otros apartados de esta auditoría energética.

6.5. HORNOS DE FUSIÓN.

“Fundición, S.A” cuenta con 3 hornos de fusión por inducción, llamados H1, H2 y H3, de 6.000, 4.000 y 5.000 kg respectivamente. La potencia nominal de H1 es de 2.500 kW, la de H2 es 1.000 kW y la de H3 es 1.250 kW

Un horno de fusión es una máquina que se utiliza para crear metales a partir de su forma mineral. En concreto, en este caso se trata de hornos de fusión por inducción que son hornos eléctricos en los que el calor es generado por la inducción eléctrica de un medio conductivo, es decir, un metal, en un crisol y alrededor del cual se encuentran enrolladas bobinas magnéticas [41].



Cuadro 6-5.- Horno de fusión por inducción. (Fuente: [42])

Los hornos de fusión por inducción tienen mayores ventajas en numerosos aspectos respecto a los tradicionales. Una de ellas es que el proceso es más limpio, debido a esto, no es necesario realizar la purificación después de la fusión y así se elimina uno de los pasos en el proceso de fundición. Esto se traduce en menores costes de mantenimiento y de inventario de máquina. Además, la fundición por inducción es extremadamente rápida y uniforme. Otra característica de este tipo de fundición es que genera calor rápidamente, mejorando la calidad final del producto resultante de la fundición. Es una operación amigable con el medio ambiente también.

Este tipo de hornos, son hornos de gran rango de capacidad desde menos de 1 kg hasta 320 toneladas. Además, se debe comentar que pueden ser utilizados para fundir en su interior todo tipo de metales ferrosos y no ferrosos, incluyendo metales preciosos.

Por otro lado, la energía calorífica en los hornos se consigue a través de la corriente alterna y el campo electromagnético, los cuales generan corrientes secundarias en la carga. El crisol es cargado con el material que se desea fundir: Lingotes, chatarra, virutas, etc. Después, una vez cargado el horno, el campo electromagnético penetra en la carga introducida y le induce una corriente que lo funde. A continuación, cuando la carga se ha terminado de fundir, el campo electromagnético y la corriente inducida hacen al metal agitarse, la agitación es producto de la frecuencia suministrada por la unidad de potencia, la geometría de la bobina, densidad, permeabilidad magnética y resistencia del metal fundido.

En los procesos de fundición con los hornos de fundición un aspecto clave a tener en cuenta es su frecuencia de operación. En este tipo de hornos el rango de frecuencias utilizadas va desde la frecuencia de la red (50 o 60 Hz) hasta 10 kHz, esto depende de la capacidad del horno, la unidad del inversor y el tipo de metal que se desea fundir.

Frecuencias menores a las comentadas no son recomendables debido a que generan más turbulencias con el metal y reducen la potencia que puede aplicarse al metal fundido.

6.5.1. Funcionamiento del horno 1.

“Fundición, S.A” es una empresa industrial que se dedica a la fundición, por lo tanto, gran parte de su consumo energético se ve reflejado en el proceso de fundición.

El horno 1 (H1), explicado anteriormente, es el mayor de todos, ya que su capacidad es de 6.000 kg y su potencia nominal de 2.500 kW.

En el gráfico 6-10 se puede observar la potencia activa y reactiva del horno 1 en un día completo.

Analizamos las coladas realizadas por el H1 en el periodo de enero a septiembre del 2018. En el gráfico 6-11 se pueden observar los horarios de funcionamiento del H1. Remarcado en un cuadro negro se encuentra el horario no perteneciente al periodo 6. El periodo 6 es el que comprende desde las 00:00 hasta los 08:00 de lunes a viernes y, las 24 horas los fines de semana y festivos. Se puede comprobar que se trabaja de una manera irregular, cuando se debería intentar trabajar principalmente en el periodo 6 debido a que es el periodo más barato.

Además de la utilización del horno 1 en periodos poco recomendables, la potencia demandada por la planta mientras se están utilizando los hornos en muchas ocasiones sobrepasa la potencia contratada. Es necesario también tener en cuenta que la potencia base de la planta normalmente está entre 150 y 500 kW.

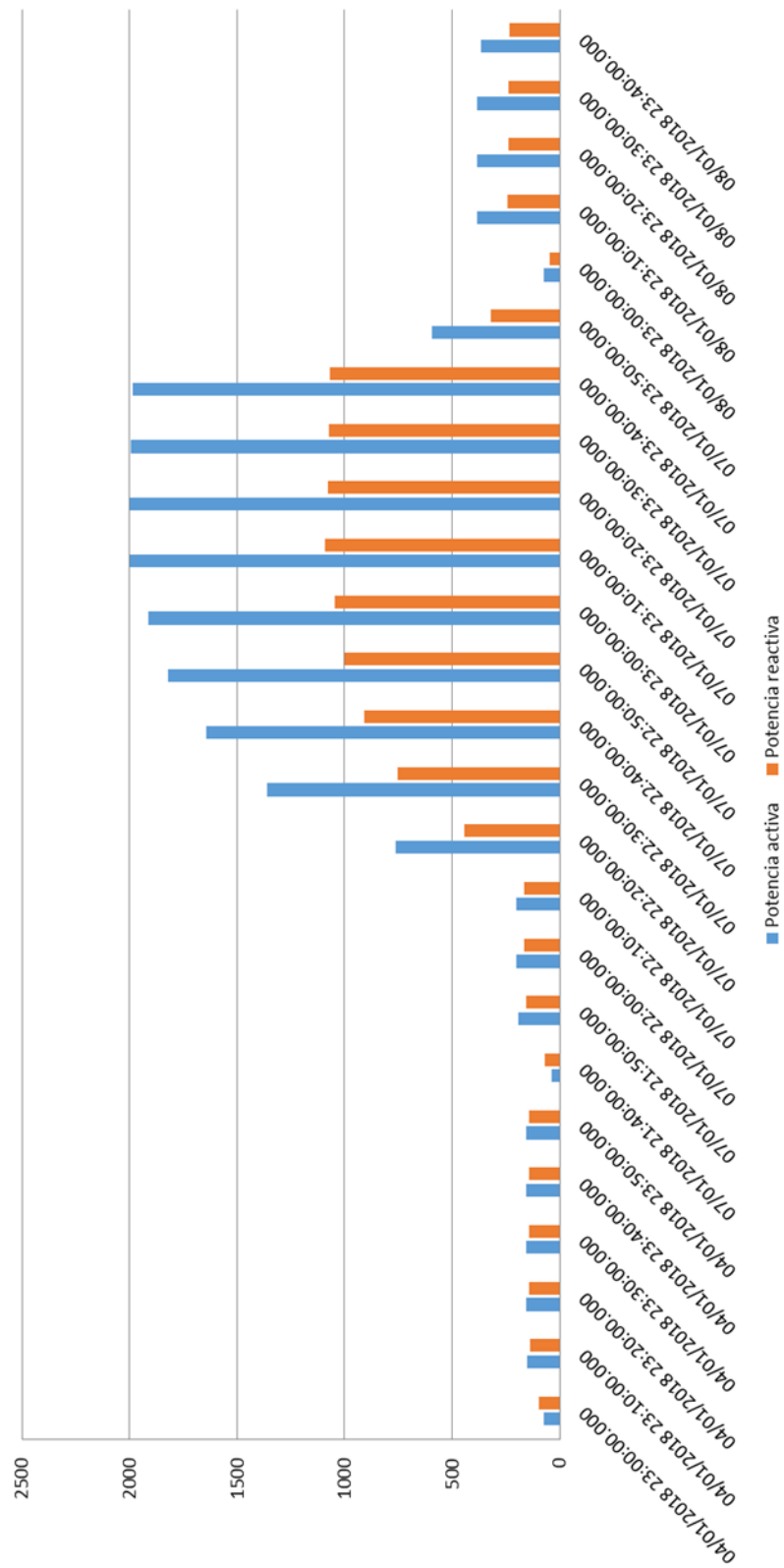


Gráfico 6-11.- Consumo de potencia activa y reactiva del H1. (Fuente: Elaboración propia).

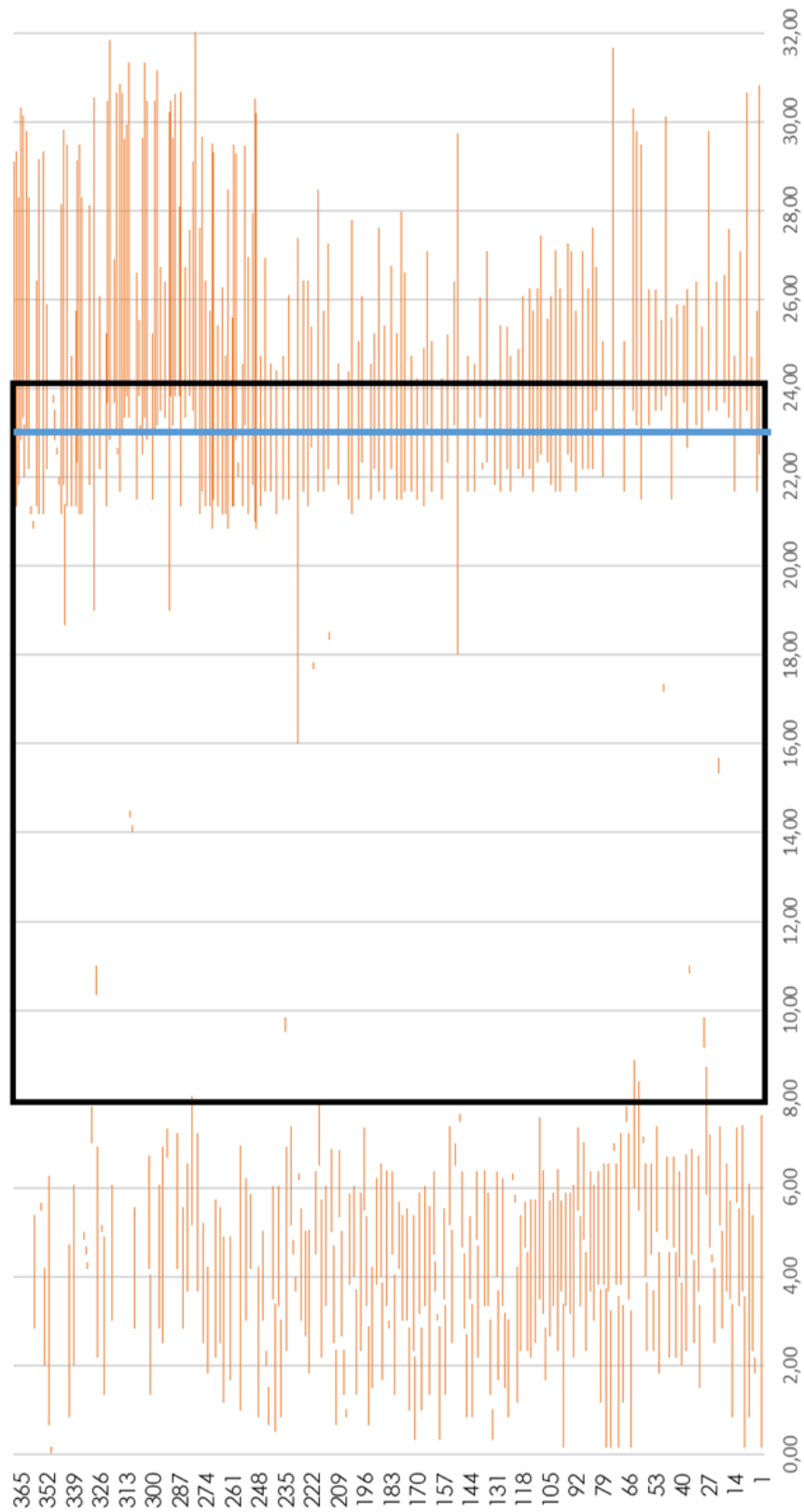


Gráfico 6-12.- Horarios de funcionamiento del horno 1. (Fuente: Elaboración propia)

6.5.2. Funcionamiento de los hornos 2 y 3.

Si nos centramos en el funcionamiento del horno 2 (H2) y el horno 3 (H3) observamos que ambos no pueden funcionar a la vez, sino que se turnan en su utilización. Esto se debe a que tienen un único grupo de inducción para ambos hornos. Por este motivo, los analizamos conjuntamente.

Como hemos explicado anteriormente, H2 es el más pequeño con una capacidad de 4.000 kg y una potencia nominal de 1.000 kW. El H3 es un horno intermedio con una capacidad de 5.000 kg y una potencia nominal de 1.250 kW.

En el gráfico 6-12 se puede observar la potencia activa y reactiva de los hornos H2 y H3 en un día completo.

Analizamos las coladas realizadas por H2 y H3 en el periodo de enero a septiembre del 2018. Al igual que con el horno 1, la utilización de los hornos 2 y 3 es irregular. Esto debería cambiarse porque la mejor manera sería utilizando los hornos en el periodo 6 cuando el precio de la energía es mucho más barato y se tiene mayor potencia contratada. El periodo 6 es aquel que comprende desde las 00:00 hasta las 08:00 de lunes a viernes y, las 24 horas los fines de semana y festivos.

En este caso también hay excesos de potencias, en muchos casos la potencia demandada es superior a la contratada.

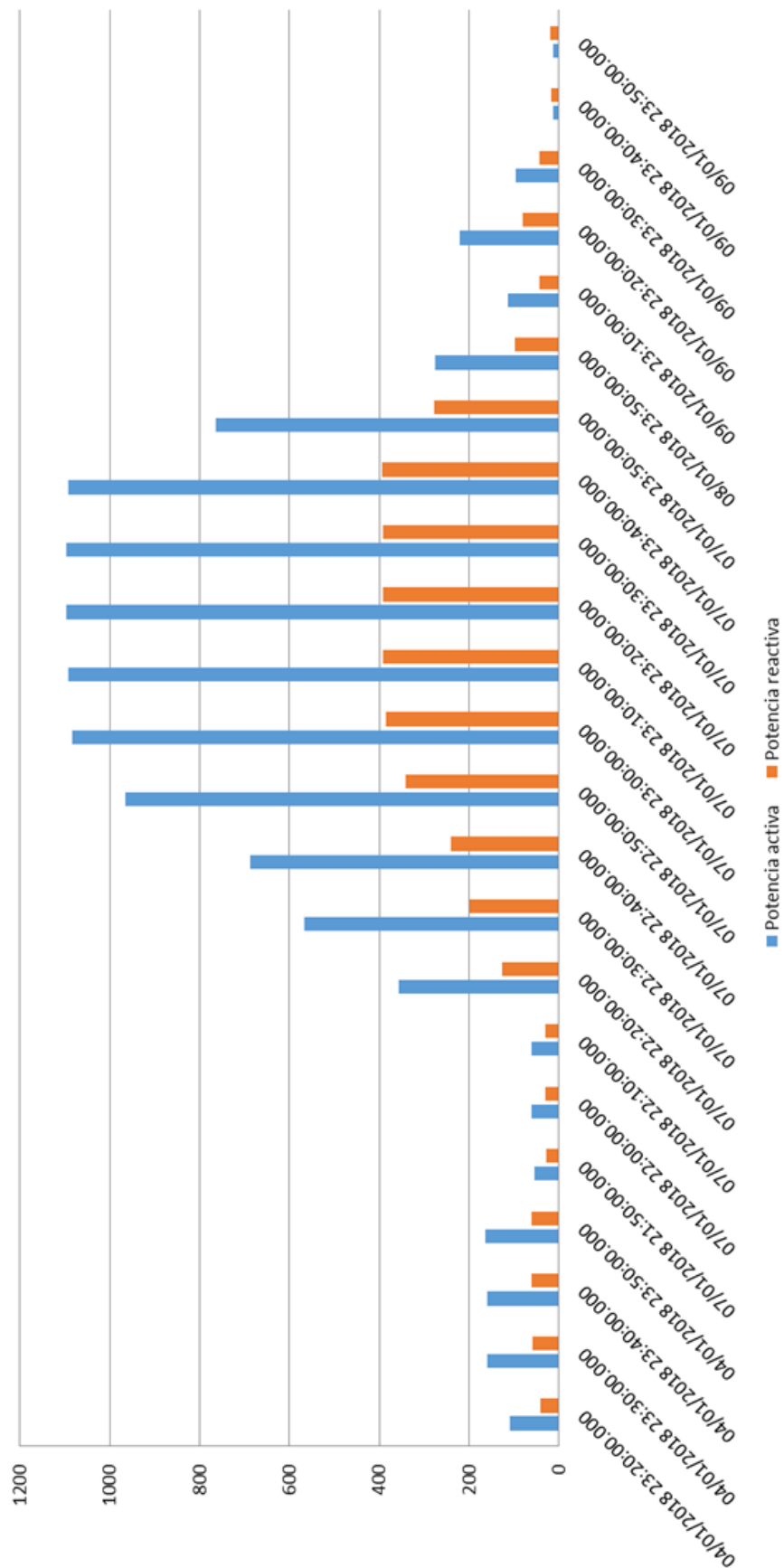


Gráfico 6-13.- Consumo de potencia activa y reactiva de H2 y H3. (Fuente: Elaboración propia)

6.5.3. Propuesta de mejora: Funcionamiento de los hornos en periodo 6.

Una vez analizado el funcionamiento de los hornos de fusión, en todos los casos nos encontramos con dos grandes problemas:

- Los hornos funcionan en periodos en los cuales el precio de la electricidad es mayor.
- El consumo energético de la planta se incrementa considerablemente con la utilización de los hornos, superando la potencia demandada a la contratada y teniendo así penalizaciones.

Para estos dos problemas, la solución es que los hornos funcionen en periodo 6 porque su precio es el menor de todos los periodos y es en el cual la potencia contratada es mayor y así se podrían evitar la mayoría de las penalizaciones por exceso de potencia.

En el caso del horno 1, funcionar fuera del periodo 6 tiene un sobre coste anual de **7.986,93 euros**.

En los hornos 2 y 3 el funcionamiento de estos fuera del periodo 6 supone un sobre coste de **1.666,59 euros** anuales.

Por otro lado, las penalizaciones por exceso de potencia en el horno 1 ascienden a **17.017,41 euros**. Si, por el contrario, se hubiera trabajado en el periodo 6 no habría ningún exceso de potencia y se habrían ahorrado todas las penalizaciones de potencia.

Lo mismo ocurre en el caso de los hornos 2 y 3, pero su sobre coste por exceso de potencia es menor puesto que son los que menor potencia tienen. Sin embargo, el sobre coste que conlleva sigue siendo considerable con un total de **4.837,02 euros** en potencia.

Tabla 6-23.- Simulación del ahorro total del horno 1. (Fuente: Elaboración propia)

ENERGÍA POR PERIODOS		COSTE POR PERIODO
PERIODOS	ENERGÍA (kWh)	
1	131	16,63 €
2	68.060	7.666,69 €
3	544	52,77 €
4	108.016	9.486,40 €
5	136.194	9.582,11 €
TOTAL	312.945	26.804,59 €

SIMULACIÓN DE LOS MISMOS CONSUMOS EN PERIODO 6		
PERIODO	ENERGÍA	COSTE
6	312.945	18.817,66 €
SOBRECOSTE EN ENERGÍA		7.986,93 €

EXCESO DE POTENCIA	
SOBRECOSTE EN POTENCIA	17.017,41 €

AHORRO TOTAL EN TP Y TE	
25.004,34 €	

Tabla 6-24.- Simulación del ahorro de los hornos 2 y 3. (Fuente: Elaboración propia)

ENERGÍA POR PERIODOS		COSTE POR PERIODO
PERIODOS	ENERGÍA (kWh)	
1	9	1,16 €
2	16.334	1.839,97 €
3	702	68,07 €
4	21.835	1.917,66 €
5	17.373	1.222,33 €
TOTAL	56.254	5.049,19 €

SIMULACIÓN DE LOS MISMOS CONSUMOS EN PERIODO 6		
PERIODO	ENERGÍA	COSTE
6	56.254	3.382,60 €
SOBRECOSTE EN ENERGÍA		1.666,59 €

EXCESO DE POTENCIA	
SOBRECOSTE EN POTENCIA	4.837,02 €

AHORRO TOTAL EN TP Y TE	
6.503,61 €	

En resumen, teniendo en cuenta todos los sobrecostos que supone no trabajar en el periodo 6, se propone ajustar el funcionamiento de los hornos al periodo 6. De esta manera, “Fundición, S.A.” podría obtener un ahorro económico anual de **31.507,95 euros**.

Tabla 6-25.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO2/año)
Ajuste del funcionamiento en periodo 6 de los hornos de fusión	-	31.507,95 €	-	-	-

6.6. LINEA BASE ENERGÉTICA DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

La línea base energética es imprescindible en las auditorías energéticas debido a que nos permite conocer la evolución en el tiempo del consumo energético y la repercusión que tendrán las medidas de mejora.

En “Fundición, S.A.” la línea base energética debe ser calculada para poder determinar cuáles serán los consumos futuros a través de una ecuación conociendo las variables de las que depende.

Primero, se deben conocer las variables que pueden influir en el consumo de energía eléctrica de la planta, como podrían, por ejemplo, ser la cantidad de kg brutos fundidos por los hornos o el porcentaje de humedad. Debemos analizar cada una de ellas, observando cuales son aquellas que influyen en el consumo. Todas estas variables se relacionan con el consumo energético a través de una función matemática, siendo el consumo nuestra variable dependiente y el resto nuestras variables independientes. Dicha función matemática es un modelo estadístico de regresión lineal multivariable.

Una regresión lineal multivariable es un modelo matemático que trata de ajustar modelos lineales entre una variable dependiente y más de una variable independiente. Es una gran técnica estadística para comprobar hipótesis y relaciones causales. Este modelo se expresa de la siguiente manera [43]:

$$Y_T = \beta_0 + \beta_1 \times X_1 + \beta_2 \times X_2 + \dots + \beta_P \times X_P + \varepsilon$$

Donde:

- Y_T : Variable dependiente.
- X_1, X_2, \dots, X_P : Variables independientes.
- $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_P$: Parámetros, miden la influencia que las variables independientes tienen sobre la dependiente.
- ε : Término aleatorio.

Cuanto más se aleja de 0 el coeficiente beta (β), más fuerte es la relación. Además, el signo indica la dirección, el signo positivo (+) indica que al aumentar los valores de la variable independiente aumentan los valores de la variable dependientes y el signo

negativo (-) indica que al aumentar los valores de la variable independiente descienden los valores de la variable dependiente [44].

A la hora de realizar una regresión lineal multivariable hay que fijarse en el valor de R^2 debido a que es cuánto las variables independientes explican la variable dependiente, indica el porcentaje de la varianza de la variable dependiente explicado por el conjunto de variable independientes. Cuanto más próximo a 1 sea el valor de R^2 más explicativo y mejor es el modelo causal [44].

A través de una regresión lineal multivariable se pueden predecir los valores de una variable, es decir, a partir de unas características se puede predecir de forma aproximada un comportamiento o estado.

Los consumos energéticos analizados han sido los de los meses de junio y julio de 2018 realizados en “Fundición, S.A.”.

Las variables que se han analizado han sido las siguientes:

- kg de colada brutos de los hornos de fusión.
- Horas de trabajo.
- Temperatura exterior.
- Horas de luz al día.
- Porcentaje de humedad.
- Volumen de precipitaciones.

Como se ha explicado, al realizar las regresiones lineales nos debemos fijar en el coeficiente de determinación R^2 , ya que cuanto más próximo a 1 sea este, más se aproximará nuestra ecuación a la demanda de energía eléctrica de “Fundición, S.A”.

En la siguiente tabla se observan las diferentes comparativas que hemos realizado y cuál es su valor del coeficiente de determinación R^2 :

Tabla 6-26.- Casos estudiados y su valor del coeficiente de determinación R^2 . (Fuente: Elaboración propia)

CASO 1- HORAS DE LUZ	79,78%
CASO 2- TEMPERATURA	78,51%
CASO 3- TEMPERATURA Y HORAS DE LUZ	81,74%
CASO 4- HORAS DE TRABAJO	78,50%
CASO 5- HORNOS, HORAS DE TRABAJO, TEMPERATURA Y LUZ AL DIA	82,47%
CASO 6- HORNOS LINEAL Y \wedge^2 , HORAS TRABAJO, TEMPERATURA Y LUZ AL DÍA	82,70%
CASO 7-TODO LINEAL CON PRECIPITACIONES	83,49%
CASO 8-TODO CON PRECIPITACIONES	83,64%
CASO 9-TODO CON PRECIPITACIONES Y HUMEDAD	83,90%

Se muestra la opción más favorable, en aquella que el valor del coeficiente de determinación R^2 es 0,839:

Tabla 6-27.- Valores de la variable dependiente y de las variables independientes utilizadas en este caso 1.
(Fuente: Elaboración propia)

	y	x1	x2	x3	
	JUNIO Y JULIO	CONSUMO	FUSIÓN	FUSIÓN^2	HORAS DE TRABAJO
	Día/mes	kWh/día	Bruto colada	Bruto colada^2	Horas
Viernes	01/06/2018	23518	18200	331240000	24
Sábado	02/06/2018	15434	0	0	8
Domingo	03/06/2018	15224	0	0	2
Lunes	04/06/2018	28710	16850	283922500	24
Martes	05/06/2018	24405	16450	270602500	24
Miércoles	06/06/2018	27806	15100	228010000	24
Jueves	07/06/2018	30562	17230	296872900	24
Viernes	08/06/2018	23449	20200	408040000	24
Sábado	09/06/2018	16361	0	0	8
Domingo	10/06/2018	13814	0	0	2
Lunes	11/06/2018	25033	17600	309760000	24
Martes	12/06/2018	26891	20270	410872900	24
Miércoles	13/06/2018	31284	15715	246961225	24
Jueves	14/06/2018	31711	16220	263088400	24
Viernes	15/06/2018	24747	21800	475240000	24
Sábado	16/06/2018	17008	0	0	8
Domingo	17/06/2018	15765	0	0	2
Lunes	18/06/2018	25292	13200	174240000	24
Martes	19/06/2018	34802	21400	457960000	24
Miércoles	20/06/2018	33752	20050	402002500	24
Jueves	21/06/2018	30629	18800	353440000	24
Viernes	22/06/2018	24595	17000	289000000	24
Sábado	23/06/2018	14834	0	0	8
Domingo	24/06/2018	14401	0	0	2
Lunes	25/06/2018	27638	18300	334890000	24
Martes	26/06/2018	30638	19100	364810000	24
Miércoles	27/06/2018	31781	15500	240250000	24
Jueves	28/06/2018	29677	17000	289000000	24
Viernes	29/06/2018	33263	18700	349690000	24
Sábado	30/06/2018	14590	0	0	8
Domingo	01/07/2018	16571	0	0	2
Lunes	02/07/2018	25538	14445	208658025	24
Martes	03/07/2018	31548	18205	331422025	24
Miércoles	04/07/2018	28379	16870	284596900	24
Jueves	05/07/2018	31137	19950	398002500	24
Viernes	06/07/2018	26268	16905	285779025	24
Sábado	07/07/2018	15521	0	0	8
Domingo	08/07/2018	16785	0	0	2
Lunes	09/07/2018	28094	19090	364428100	24
Martes	10/07/2018	27620	17680	312582400	24
Miércoles	11/07/2018	36557	22570	509404900	24
Jueves	12/07/2018	29283	16410	269288100	24
Viernes	13/07/2018	24660	18125	328515625	24
Sábado	14/07/2018	16175	0	0	8
Domingo	15/07/2018	15181	0	0	2
Lunes	16/07/2018	25722	18259	333391081	24
Martes	17/07/2018	32660	16750	280562500	24
Miércoles	18/07/2018	33149	16300	265690000	24
Jueves	19/07/2018	32346	16250	264062500	24
Viernes	20/07/2018	27451	17200	295840000	24
Sábado	21/07/2018	12180	0	0	8
Domingo	22/07/2018	14446	0	0	2
Lunes	23/07/2018	24491	17000	289000000	24
Martes	24/07/2018	26036	16200	262440000	24
Miércoles	25/07/2018	29095	17200	295840000	24
Jueves	26/07/2018	28485	17400	302760000	24
Viernes	27/07/2018	23494	16220	263088400	24
Sábado	28/07/2018	16385	0	0	8
Domingo	29/07/2018	15510	0	0	2
Lunes	30/07/2018	19077	17280	298598400	24
Martes	31/07/2018	24844	20450	418202500	24

Tabla 6-28.- Valores de la variable dependiente y de las variables independientes utilizadas en este caso 2.
(Fuente: Elaboración propia)

		x4	x5	x6	x7
	JUNIO Y JULIO	TEMPERATURA	LUZ AL DÍA	PRECIPITACIONES	HUMEDAD
	Día/mes	°C	Horas	l/m2	%
Viernes	01/06/2018	16,00	15,20	24	97,55
Sábado	02/06/2018	20,00	15,22	280	98,34
Domingo	03/06/2018	18,00	15,22	122	99,70
Lunes	04/06/2018	16,50	15,25	495	89,07
Martes	05/06/2018	16,50	15,27	1933	87,15
Miércoles	06/06/2018	16,00	15,30	502	93,38
Jueves	07/06/2018	19,00	15,30	592	93,50
Viernes	08/06/2018	17,50	15,32	1308	98,44
Sábado	09/06/2018	18,00	15,35	2018	92,06
Domingo	10/06/2018	18,00	15,35	1840	91,76
Lunes	11/06/2018	18,50	15,37	3090	89,42
Martes	12/06/2018	18,50	15,37	2831	94,73
Miércoles	13/06/2018	17,50	15,38	126	87,31
Jueves	14/06/2018	17,50	15,38	0	86,31
Viernes	15/06/2018	18,00	15,40	6	93,92
Sábado	16/06/2018	18,00	15,40	0	92,10
Domingo	17/06/2018	19,00	15,40	0	85,83
Lunes	18/06/2018	18,00	15,42	0	91,75
Martes	19/06/2018	19,50	15,42	0	91,22
Miércoles	20/06/2018	20,00	15,42	0	94,23
Jueves	21/06/2018	22,00	15,43	0	97,50
Viernes	22/06/2018	19,50	15,42	0	92,72
Sábado	23/06/2018	17,50	15,42	0	79,88
Domingo	24/06/2018	19,00	15,42	0	72,33
Lunes	25/06/2018	19,00	15,42	0	73,02
Martes	26/06/2018	19,00	15,40	0	88,78
Miércoles	27/06/2018	19,00	15,40	0	95,44
Jueves	28/06/2018	20,00	15,38	0	94,77
Viernes	29/06/2018	20,50	15,38	0	93,77
Sábado	30/06/2018	22,00	15,38	55	92,90
Domingo	01/07/2018	21,50	15,37	0	95,65
Lunes	02/07/2018	21,00	15,37	0	94,02
Martes	03/07/2018	23,00	15,33	0	91,75
Miércoles	04/07/2018	20,50	15,32	17	94,11
Jueves	05/07/2018	20,00	15,32	5	92,02
Viernes	06/07/2018	21,00	15,30	0	90,21
Sábado	07/07/2018	21,50	15,27	0	90,47
Domingo	08/07/2018	23,50	15,27	0	90,94
Lunes	09/07/2018	23,00	15,23	0	87,43
Martes	10/07/2018	23,50	15,22	0	87,02
Miércoles	11/07/2018	22,50	15,20	32	89,35
Jueves	12/07/2018	22,00	15,18	0	92,28
Viernes	13/07/2018	21,00	15,15	52	87,89
Sábado	14/07/2018	23,00	15,13	0	93,04
Domingo	15/07/2018	23,50	15,10	0	96,45
Lunes	16/07/2018	21,50	15,07	768	85,04
Martes	17/07/2018	21,00	15,07	0	85,99
Miércoles	18/07/2018	23,50	15,03	0	91,07
Jueves	19/07/2018	22,00	15,00	165,5	94,79
Viernes	20/07/2018	19,50	14,97	61	95,67
Sábado	21/07/2018	20,00	14,93	893	92,90
Domingo	22/07/2018	22,00	14,92	24	91,86
Lunes	23/07/2018	21,50	14,88	0	87,09
Martes	24/07/2018	23,50	14,85	0	93,13
Miércoles	25/07/2018	24,00	14,82	0	92,71
Jueves	26/07/2018	23,50	14,78	0	96,91
Viernes	27/07/2018	22,00	14,75	6	99,63
Sábado	28/07/2018	20,00	14,72	361	99,59
Domingo	29/07/2018	22,00	14,68	0	90,03
Lunes	30/07/2018	22,00	14,63	0	83,47
Martes	31/07/2018	20,50	14,60	370	94,03

Tabla 6-29.- Resumen de las estadísticas de la regresión. (Fuente: Elaboración propia).

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0,9160
Coefficiente de determinación R ²	0,8390
R ² ajustado	0,8177
Error típico	2877,6023
Observaciones	61

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	7	2287045342	326720763,1	39,4561932	8,00795E-19
Residuos	53	438871544,3	8280595,176		
Total	60	2725916886			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	-93582,5012	31885,5415	-2,9350	0,0049	-157536,7984	-29628,2041	-157536,7984	-29628,2041
Variable X 1	0,9022	0,5332	1,6921	0,0965	-0,1672	1,9716	-0,1672	1,9716
Variable X 2	0,0000	0,0000	-0,8089	0,4222	-0,0001	0,0000	-0,0001	0,0000
Variable X 3	84,6505	226,5399	0,3737	0,7101	-369,7309	539,0319	-369,7309	539,0319
Variable X 4	378,3366	213,1978	1,7746	0,0817	-49,2840	805,9573	-49,2840	805,9573
Variable X 5	6261,6449	1848,1081	3,3881	0,0013	2554,8095	9968,4802	2554,8095	9968,4802
Variable X 6	-1,0960	0,6002	-1,8260	0,0735	-2,2998	0,1079	-2,2998	0,1079
Variable X 7	65,5910	70,9855	0,9240	0,3597	-76,7879	207,9700	-76,7879	207,9700

Es decir, la opción más favorable es en aquella en la que se han evaluado como variables los kg de colada brutos de los hornos de fusión linealmente y al cuadrado, las horas de trabajo, la temperatura exterior, las horas de luz, precipitaciones y humedad.

Obtenemos la ecuación de este último caso, que será la que nos permita calcular el consumo previsto:

$$\text{Consumo energético} = -93582,5012 + 0,9022 \times X_1 + 1,4722 \times 10^7 \times X_2 + 84,6505 \times X_3 + 378,33664 \times X_4 + 6261,6448 \times X_5 + -1,0960 \times X_6 + 65,5910 \times X_7$$

Donde:

- X_1 : Masa de colada brutos de los hornos de fusión (kg).
- X_2 : Masa de colada brutos de los hornos de fusión al cuadrado (kg²).
- X_3 : Tiempo de trabajo (h).
- X_4 : Temperatura media exterior (°C).
- X_5 : Tiempo de luz (h).
- X_6 : Precipitaciones (l/m²).
- X_7 : Humedad (%).

A continuación, en el siguiente grafico se muestra la curva del consumo previsto para la planta calculada siguiendo la ecuación obtenida gracias al valor de R² y la curva del consumo real:

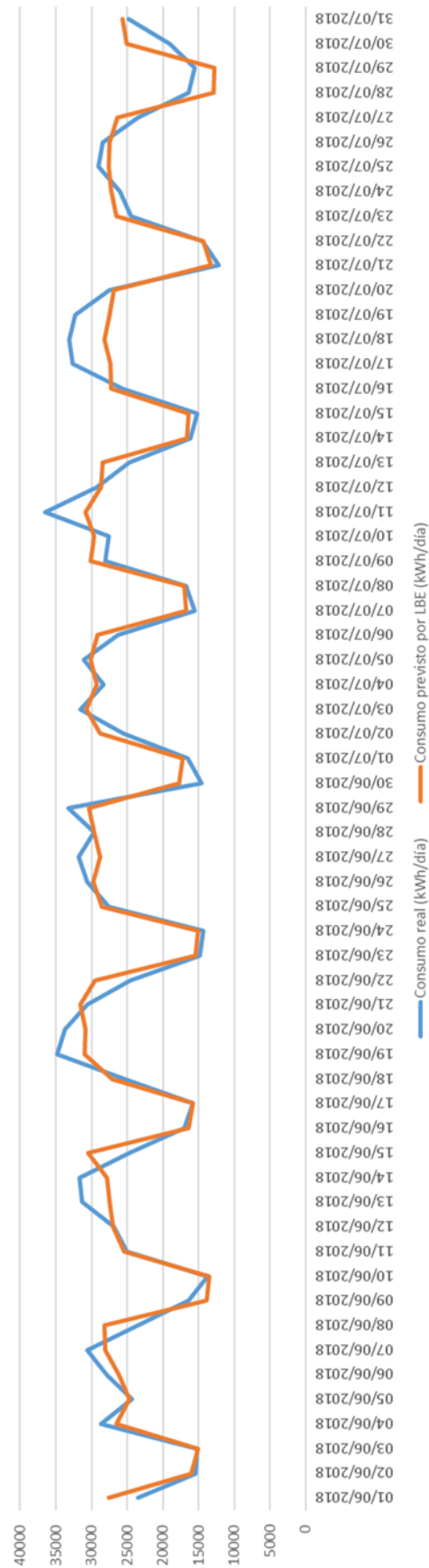


Gráfico 6-14.- Línea base energética. Curvas del consumo real y del consumo previsto para la planta. (Fuente: Elaboración propia)

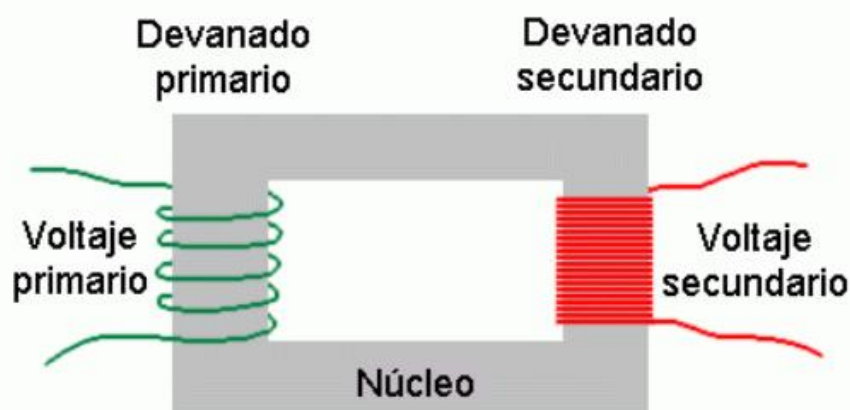
Se comprueba que ambas curvas se ajustan bastante y, por lo tanto, podríamos afirmar que podemos llegar a saber el consumo de energía eléctrica de “Fundición, S.A.” si conocemos todas las variables comentadas anteriormente utilizando la ecuación del consumo anterior. Es decir, conociendo principalmente cuanto se va a producir en la planta y las variables mencionadas, se puede llegar a conocer el consumo que se va a tener aproximadamente antes de que este se produzca. Adicionalmente, de esta manera se pueden detectar anomalías, un mal funcionamiento, un mal mantenimiento o una producción incorrecta.

6.7. ANÁLISIS DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LA EMPRESA.

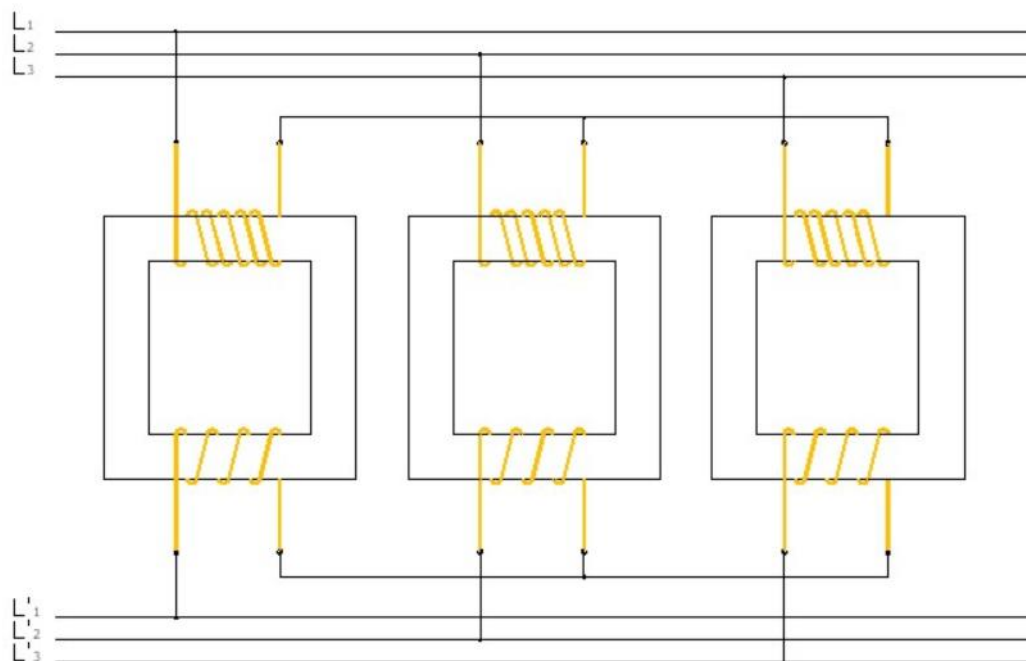
En este apartado, se va a realizar un análisis del suministro eléctrico de la empresa. El suministro eléctrico de “Fundición, S.A.” es un suministro en alta tensión y con una tarifa de mercado libre 6.1. Como ya se ha explicado anteriormente, la tarifa 6.1 cuenta con 6 periodos tarifarios diferentes y el suministro debe realizarse con una tensión entre 12 y 36 kV. En este caso, las potencias contratadas para cada periodo son las siguientes: En los periodos del 1 al 3 la potencia contratada es 900 kW, en el periodo 4 es de 2.200 kW, en el periodo 5 es de 2.700 kW y en el periodo 6 de 3.500 kW.

Para cumplir con todos los requisitos demandados por “Fundición, S.A.” cuenta con una pequeña subestación interior, en la cual se encuentran ubicados tres transformadores de potencia de 1.250 kVA, 1600 kVA y 3.150 kVA.

Se debe explicar, que un transformador es un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia. Para realizar esto, se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética. En su interior cuenta con dos bobinas de material conductor (se denominan primaria y secundaria, según correspondan a la entrada o salida del sistema), estas están devanadas sobre un núcleo cerrado de material ferromagnético pero aisladas entre sí eléctricamente.



Cuadro 6-6.- Principio de funcionamiento de un transformador monofásico ideal. (Fuente: [45])



Cuadro 6-7.- Transformador trifásico con tres transformadores monofásicos. (Fuente: [46])

A través de estos tres transformadores de potencia se consigue repartir el suministro eléctrico a toda la planta: El transformador de 3.150 kVA alimenta al grupo de inducción del horno 1 y el transformador de 1.250 kVA alimenta a los grupos de inducción de los hornos de fusión 2 y 3. El transformador de 1.600 kVA es el encargado de alimentar el resto de los servicios de la planta, como la iluminación, el aire comprimido, etc.

Podemos observar la importancia de los transformadores de potencia, en el siguiente caso de la planta: La tensión de alimentación de la planta es de 230/400 V, sin embargo, los hornos de fusión trabajan con una tensión de 440 V. Por lo tanto, debe transformarse la potencia.

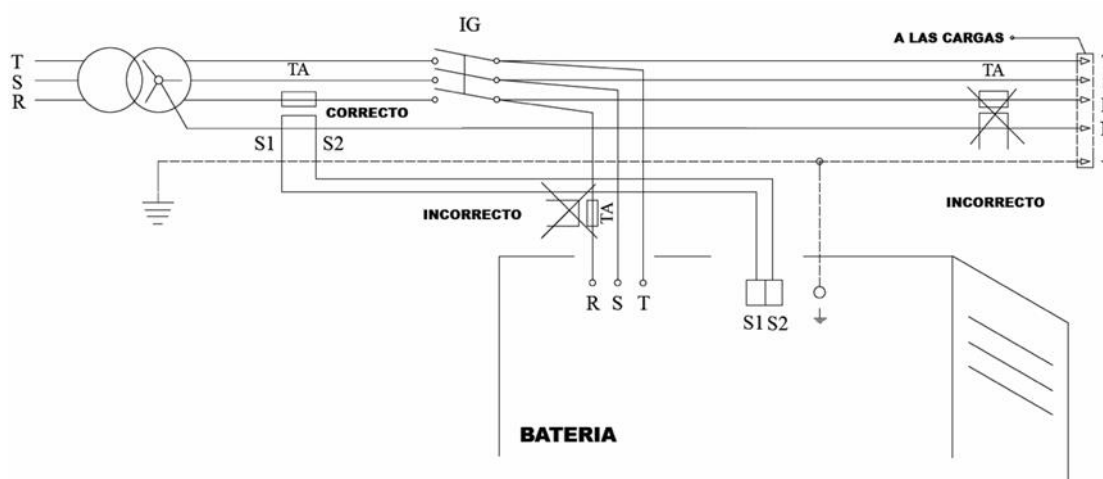
Otra cosa a tener en cuenta respecto al suministro eléctrico principal de “Fundición, S.A.” es la existencia de una batería de condensadores en planta.

Una batería de condensadores tiene como función introducir una potencia reactiva en la misma dirección, pero en sentido opuesto a la potencia reactiva inductiva consumida por los receptores de nuestra instalación. Además, una batería de condensadores tiene las siguientes ventajas: Reducción de la potencia aparente, mejora de la calidad de tensión y reducción de la factura eléctrica. Como ya se ha explicado en el capítulo anterior de facturación, la energía reactiva genera un problema económico en la empresa, debido a que nos repercute a través de penalizaciones económicas impuestas [47].



Cuadro 6-8.- Batería de condensadores. (Fuente: [48])

En la actualidad, el factor de potencia de la batería de condensadores se encuentra en un valor de 0,96. Aún con esta batería de condensadores, en el año 2018 se han registrado penalizaciones por consumo de energía reactiva de **608,89€ más impuestos**. En el capítulo anterior de facturación, podemos observar más detenidamente estos datos.



Cuadro 6-9.- Esquema de conexión de la batería de condensadores. (Fuente: Elaboración propia)

Se muestra el esquema de conexión de la batería de condensadores de la planta de “Fundición, S.A”. En dicho esquema se puede observar que el sistema mide automáticamente la energía reactiva presente en una fase y según esta medida realiza una regulación de la batería. Este tipo de circuito es un sistema Aaron, mide las tensiones de cada una de las fases, pero sólo la intensidad de una y, con una simple regla de tres estima la potencia trifásica total. La regulación de la batería se obtiene

conectando o desconectando unos u otros escalones de la batería (condensadores). Estas decisiones las toma el regulador presente en el sistema y estarán ligadas a la información de que disponga, cuando más precisa sea esta información mejor actuará.

En el caso de la instalación presente en “Fundición, S.A.” se cuenta con dos problemas:

- Primero, se mide el factor de potencia en una fase. Esto hace que no se pueda realizar una compensación total del factor de potencia ya que existen cargas armónicas que producen un cierto nivel de desequilibrio.
- Segundo, la batería de condensadores está configurada para llegar a un factor de potencia 0,96 inductivo. Este valor está por debajo de la unidad y es superior al límite de 0,95. Sin embargo, no es posible llegar a conseguir el 100%, por este motivo el factor de potencia estará debajo del valor fijado de 0,96.

En el apartado anterior de facturación, se ha propuesto una mejora en la batería de condensadores que solucionaría los recargos por penalizaciones por consumo de energía reactiva.

6.7.1. Evaluación de las pérdidas en los transformadores.

El coste económico que supone el consumo energético de las pérdidas en el centro de transformación es una parte importante a tener en cuenta. En este apartado, analizaremos el consumo de los transformadores y sus características. Sin embargo, primero se va a explicar la forma de calcular las pérdidas en los transformadores.

Ninguna máquina eléctrica es ideal, es decir, siempre tienen algún tipo de pérdida al realizar un trabajo. Esto mismo pasa en los transformadores, por eso, saber su rendimiento es fundamental para conocer su eficiencia. El rendimiento de un transformador se puede definir por la siguiente fórmula [49]:

$$\eta = P_2/P_1$$

Donde:

- P_1 : Potencia absorbida por el devanado primario (W).
- $P_2 = P_u$: Potencia cedida al exterior de la máquina por el devanado secundario, potencia útil (W).

Las principales pérdidas que se producen en un transformador son las siguientes:

- Pérdidas por histéresis (P_H).
- Pérdidas en el cobre del bobinado (P_{Cu}).
- Pérdidas por corrientes de Foucault, por corrientes parasitarias (P_F).

Las pérdidas por histéresis y por corrientes de Foucault son pérdidas magnéticas producidas por el hierro. También suelen llamarse conjuntamente pérdidas en el hierro (P_{Fe}).

Con todo lo explicado, se puede decir que la potencia primaria absorbida por el devanado es igual a la potencia útil más las pérdidas producidas en el transformador.

$$P_1 = P_u + P_{Cu} + P_H + P_F = P_u + P_{Cu} + P_{Fe}$$

Por un lado, cuando un transformador se encuentra en vacío las pérdidas del transformador corresponden a las pérdidas del hierro. Un ensayo en vacío se utiliza para determinar diversos parámetros de las máquinas eléctricas mediante pruebas sin carga. En el caso de un transformador, la tensión aplicada es la tensión nominal y aparecerá un flujo magnético nominal. Las pérdidas en el hierro dependen de la tensión que se aplica, por este motivo serán nominales estas pérdidas. El vatímetro solo es capaz de medir las pérdidas en el hierro [50]. Por este motivo, estas pérdidas en el hierro son las culpables de tener un consumo constante, ya que se tienen en servicio los tres transformadores de la planta durante las 8.760 horas anuales.

Por otro lado, las pérdidas en el cobre son aquellas que se producen cuando el transformador está funcionando en carga. Estas pérdidas son causadas por efectos de la ley de Joule, corrientes parásitas y flujos ligados. De todas estas, las pérdidas más relevantes son las causadas por el efecto Joule. Cuando circula corriente por un conductor, éste se calienta por la gran cantidad de choques entre las cargas al moverse. El aumento de corriente en el conductor es la causa directa del calentamiento por el efecto Joule. Las pérdidas del efecto Joule se calculan de la siguiente manera:

$$P_{JI} = R \times I^2$$

Donde:

- R: Resistencia del conductor (Ω).
- I: Corriente (A).

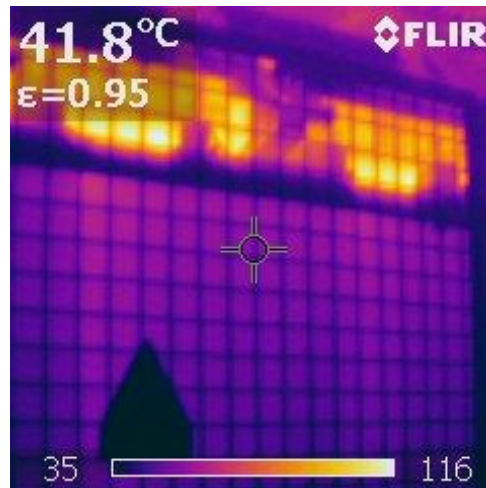
Como ya se ha comentado anteriormente, “Fundición, S.A” cuenta con un suministro en alta tensión, con tres transformadores, para así poder tener una mayor potencia contratada y un precio de suministro mejor.

A través de la curva de carga de las distintas instalaciones y hornos de la planta, se puede llegar a estimar el grado de carga perteneciente a cada transformador.

Se muestran a continuación las características de los transformadores:

Tabla 6-30.- Características del trafo 1. (Fuente: Elaboración propia)

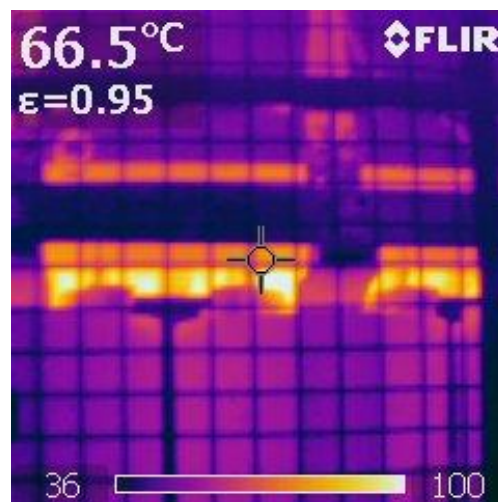
Características del Trafo 1	
Tipo	TSE 1600/12
Tensión del trafo	12.000/400V
Potencia del trafo	1.600 kVA
Conexión	Dyn11
Refrigeración	AN



Cuadro 6-10.- Termografía del trafo 1. (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 6-31.- Características del trafo 2. (Fuente: Elaboración propia)

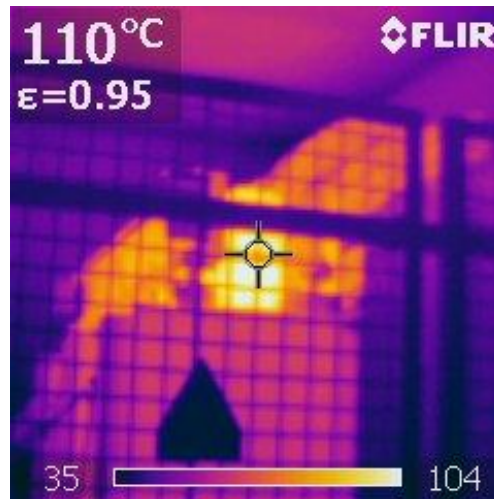
Características del Trafo 2	
Tipo	TSE 1250/12
Tensión del trafo	12.000/400V
Potencia del trafo	1.250 kVA
Conexión	Dyn11
Refrigeración	AN



Cuadro 6-11.- Termografía del trafo 2. (Fuente: Elaboración propia)

Tabla 6-32.- Características del trafo 3. (Fuente: Elaboración propia)

Características del Trafo 3	
Tipo	THAA3K-31b623
Tensión del trafo	12.000/400V
Potencia del trafo	3.150 kVA
Conexión	Dyn11d0
Refrigeración	AN



Cuadro 6-12.- Termografía del trafo 3. (Fuente: Elaboración propia)

- La conexión Dyn11 nos muestra que es un transformador formado por un bobinado en alta tensión en triángulo y un bobinado de baja tensión en triángulo en adelante de 30 grados [51].
- El sistema de refrigeración AN se refiere a que son transformadores secos con refrigeración natural por aire [52].

Tabla 6-33.- Características técnicas y grado de carga de los transformadores. (Fuente: [53])

Potencia (KVA)	Clase (kV)	Pfe (W)	Pcu (W)	Vcc %	Io %	Lwa (dB)
100	12	420	1880	6	1.68	59
	24	460	1960		2.10	
160	12	580	2550	6	1.60	62
	24	650	2700		2.00	
200	12	700	2900	6	1.50	64
	24	750	3100		1.87	
250	12	800	3400	6	1.42	65
	24	880	3300		1.78	
315	12	950	4100	6	1.40	67
	24	1000	4100		1.65	
400	12	1150	4850	6	1.18	68
	24	1200	4800		1.48	
500	12	1300	5700	6	0.96	69
	24	1400	6000		1.20	
630	12	1450	6700	6	0.85	70
	24	1600	6900		1.06	
800	12	1750	8300	6	0.72	72
	24	2000	8300		0.90	
1000	12	2000	8800	6	0.64	73
	24	2300	9600		0.80	
1250	12	2400	11200	6	0.56	75
	24	2700	11500		0.70	
1600	12	2800	12700	6.5	0.52	76
	24	3100	14000		0.65	
2000	12	3400	16000	6.5	0.48	78
	24	3650	16500		0.60	
2500	12	4300	18000	7	0.45	79
	24	4800	20000		0.56	
3150	12	5400	22900	7	0.40	80
	24	5600	23500		0.50	
4000	12	6800	26000	7.5	0.32	82
	24	7000	27000		0.40	
5000	12	7500	29000	8	0.29	83
	24	8100	30000		0.36	

Tabla 6-34.- Consumos en el trafa 1. (Fuente: Elaboración propia)

Pérdidas energéticas en el Trafo 1 (1600 kVA)	
Precio medio energía (€/kWh)	0,0820
Pérdidas en carga (kW)	12,7
Pérdidas en vacío (kW)	2,8
Horas en carga (parcial)	2.652
Horas en vacío	8.760
Energía en carga (kWh)	6.642,03
Energía en vacío (kWh)	24.528,00
Energía total Pérdidas (kWh/año)	31.170,03
Coste total Pérdidas (€/año)	2.557,12 €

Tabla 6-35.- Consumos en el trafo 2. (Fuente: Elaboración propia)

Pérdidas energéticas en el Trafo 2 (1250 kVA)	
Precio medio energía (€/kWh)	0,0820
Pérdidas en carga (kW)	11,20
Pérdidas en vacío (kW)	2,40
Horas en carga (parcial)	1.371
Horas en vacío	8.760
Energía en carga (kWh)	6.256,08
Energía en vacío (kWh)	21.024,00
Energía total Pérdidas (kWh/año)	27.280,08
Coste total Pérdidas (€/año)	2.237,99 €

Tabla 6-36.- Consumos en el trafo 3. (Fuente: Elaboración propia)

Pérdidas energéticas en el Trafo 3 (3150 kVA)	
Precio medio energía (€/kWh)	0,0820
Pérdidas en carga (kW)	22,90
Pérdidas en vacío (kW)	5,40
Horas en carga (parcial)	1.671
Horas en vacío	8.760
Energía en carga (kWh)	14.828,38
Energía en vacío (kWh)	47.304,00
Energía total Pérdidas (kWh/año)	62.132,38
Coste total Pérdidas (€/año)	5.097,20 €

Observando las tablas, se comprueba que **120.582,49 kWh/año consumidos son debidos a las pérdidas en el centro de transformación. Un 1,53% del consumo energético de la planta será por este motivo.** Además, estas pérdidas suponen unos 9.892,31 euros de costes.

El transformador de 1.250 kVA tiene una carga media de un 30%, el transformador de 1.600 kVA tiene una carga media de un 27% y el transformado de 3.500 kVA tiene una carga media de 31%. Lo cual nos indica que se cubren perfectamente las necesidades de la planta de "Fundición, S.A." y cuenta con capacidad para poder asumir futuras ampliaciones.

6.7.2. Factor de potencia de la instalación.

El factor de potencia es un indicador cualitativo y cuantitativo del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica. Se podría definir el factor de potencia (f.d.p) de un circuito de corriente alterna como [37]:

$$\text{f.d.p.} = (P/S)$$

Donde:

- P: Potencia activa (kW).
- S: Potencia aparente (kVA).

Es importante diferenciar los términos factor de potencia (f.d.p) y el $\cos \phi$, explicado anteriormente, ya que no son exactamente lo mismo. Si las cargas son lineales, el valor de ambos es el mismo. Por el contrario, cuando las cargas no son lineales, ambos valores son distintos. En el factor de potencia se tienen en cuenta las distorsiones.

Se debe añadir que el factor de potencia es un término utilizado para analizar la eficacia de un equipo eléctrico o una instalación completa porque nos describe la cantidad de energía eléctrica que se convierte en trabajo útil. Por ejemplo, si tenemos un factor de potencia de 0,9 esto indica que solo se aprovechará el 90% de la energía a nuestro favor.

Un gran problema existente en muchas plantas es un factor de potencia bajo, este problema se puede dividir en dos grupos, uno económico y otro técnico. Cuando se cuenta con muchos equipos con alto consumo de energía reactiva podemos tener un bajo factor de potencia. Como se ha explicado anteriormente, la energía reactiva se produce por aquellas cargas inductivas presentes en aparatos que necesitan crear campos magnéticos y eléctricos para su correcto funcionamiento. Algunos elementos en planta que pueden generar este problema podrían ser los transformadores, los grupos de inducción de los hornos de fusión, las lámparas fluorescentes y equipos de refrigeración, entre otros.

Los principales problemas de un bajo factor de potencia son los siguientes:

- Aumento en la corriente: Se incrementan las pérdidas por efecto Joule, las cuales son función del cuadrado de la corriente.
- Aumento de la caída de tensión: Esto resulta en un insuficiente suministro de potencia a las cargas.
- Reducción de la vida útil de las instalaciones.
- Se penaliza al usuario con factor de potencia bajo, haciendo de esta manera que pague más por su electricidad.

Como conclusión, el valor del factor de potencia es determinado por el tipo de cargas conectadas en la instalación. Su valor es adimensional y se encuentra entre valores de 0 a 1.

En los siguientes gráficos podemos observar la energía activa y reactiva de la acometida de servicios y el horno 1.

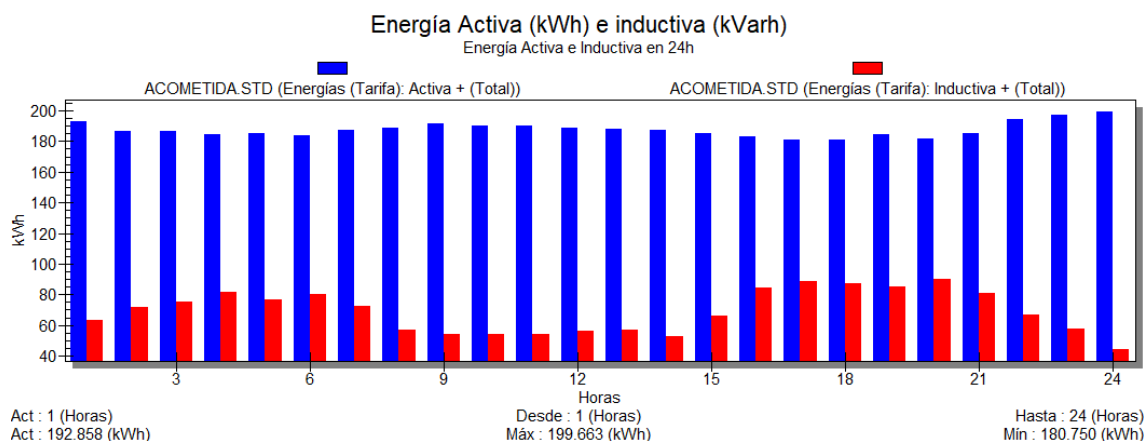


Gráfico 6-15.- Energía activa y reactiva Acometida BT servicios. (Fuente: Elaboración propia)

Como ya se ha explicado anteriormente, tener un factor de potencia bajo genera un problema económico. Esto se debe a que el precio de la factura eléctrica será mayor porque se cobrará una penalización por consumo de energía reactiva. Esta penalización por consumo de energía reactiva viene contemplada en la orden ITC 1723/2009 [35] y la aplican todas las distribuidoras eléctricas. Esto se debe a que la energía reactiva no hay que producirla, pero si hay que transportarla. La energía reactiva provoca variaciones de intensidad eléctrica de los circuitos, desencadenando sobrecarga en las líneas transformadoras y generadoras. Esto hace que se tenga que neutralizar o compensar. Por esta razón, las compañías distribuidoras de energía tienen que realizar una mayor inversión en sus equipos de generación, la capacidad en las líneas de distribución debe ser mayor, así como en los transformadores. Es decir, esta mayor capacidad genera unos costes que se aplican en la factura de la luz a través de una penalización con el concepto de consumo de energía reactiva.

Para lograr no tener penalizaciones, el factor de potencia de la instalación debe ser superior a 0,95. Se instalan baterías de condensadores para conseguir el valor deseado del factor de potencia y así compensar la energía reactiva. **En el caso de “Fundición, S.A.”, existe una batería de condensadores automatizada instalada en el suministro principal de la planta. El consumo de energía reactiva en la acometida se comprueba que está compensada, sin embargo, a veces no se encuentra en el grado necesario.** En los hornos el factor de potencia es inferior a 0,95; siendo 0,82 en el horno 1 y 0,92 en el grupo de inducción del horno 2 y horno 3.



6.7.3. Equilibrado de fases.

El equilibrio de fases es algo fundamental debido a que un desequilibrio en la corriente que circula por cada fase supone la aparición de una corriente por el neutro. Principalmente la causa de estos desequilibrios se produce debido a que las cargas monofásicas de la instalación cuelgan mayoritariamente de una de las fases haciendo que la corriente que circula sea mayor en una fase que por las otras. Si además estas cargas monofásicas generasen armónicos la situación sería aún peor debido a la aparición de una corriente de distorsión D. Por otro lado, un desequilibrio de fases puede producir que las protecciones se disparen debido a las sobrecorrientes [54].

Por lo tanto, el equilibrado de fases es muy importante para poder trabajar en los niveles más altos de potencia instalada y de esta manera obtener el máximo partido de la instalación. Se tendrán en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Las cargas monofásicas se deben repartir convenientemente entre las tres fases.
- Observar que las máquinas trifásicas están correctamente equilibradas en su diseño, debido que en su interior cuentan con componentes monofásicos y trifásicos.

En la siguiente gráfica se muestra la demanda de corriente por cada fase en la acometida de servicios de la planta de “Fundición, S.A.”. En la acometida de servicios es donde puede quedar desequilibrada la instalación debido a que es de esta de la que cuelgan cargas monofásicas, como por ejemplo la iluminación.

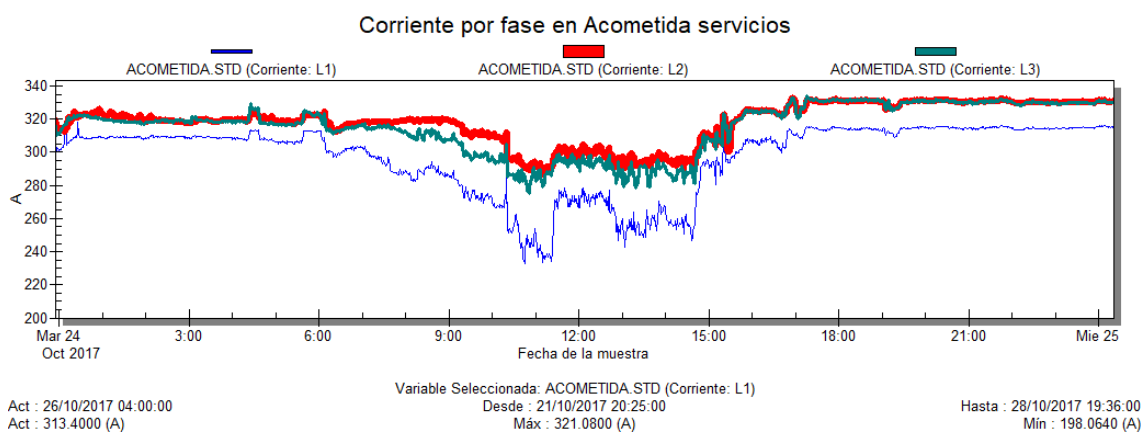


Gráfico 6-17.- Consumo por fases. Acometida BT Servicios. (Fuente: Elaboración propia)

En este caso, observando la gráfica se puede ver que existe un ligero desequilibrio ya que de esta cuelgan muchas cargas monofásicas. Se recomienda revisar los circuitos y equilibrar aquellas cargas que no se encuentren así en la actualidad.

6.7.4. Armónicos.

Las cargas no lineales de una instalación como: hornos, variadores de velocidad, inversores, rectificadores, inversores, convertidores, etc.; absorben de la red corrientes periódicas no senoidales. Estas cargas no lineales son el principal origen de armónicos.

Se definen los armónicos como perturbaciones de la forma de la onda de tensión e intensidad que se originan en el funcionamiento de las cargas no lineales de una instalación. Aun alimentándose las cargas lineales con una tensión sinusoidal, estas absorben una intensidad no sinusoidal y pueden hacer que la corriente esté desfasada un cierto ángulo respecto a la tensión [55].

Los armónicos se diferencian por su frecuencia. La frecuencia que tienen los armónicos es un múltiplo (2, 3, 4, ...n) de la frecuencia fundamental (50 o 60 Hz) en las redes eléctricas. La frecuencia de los armónicos, es decir, el número "n" determina el rango de la componente armónica. La frecuencia de un armónico de rango "n" es "n" veces la frecuencia de la red.

La presencia de corrientes armónicas no es buena para la instalación, ya que aparecen voltajes no sinusoidales en el sistema. La circulación de este tipo de corrientes provoca caídas de voltaje deformadas haciendo que a los puntos de consumo del sistema no lleguen voltajes puramente sinusoidales.

Sin lugar a dudas, la presencia de armónicos en una instalación conlleva innumerables problemas, se detallan a continuación los más importantes [56]:

- Disminución del factor de potencia. Envejecimiento o destrucción de las baterías de condensadores utilizadas para la corrección del factor de potencia debido a fenómenos de resonancia y amplificación.
- Disparos intempestivos en los interruptores automáticos y diferenciales.
- Degradaciones del aislamiento de los transformadores, perdiendo estos la capacidad de suministro de potencia.
- Mal funcionamiento de los motores asíncronos.
- Sobrecalentamientos en los conductores, sobre todo en el neutro de las instalaciones.
- Deterioro de la forma de la onda de tensión, provocando un mal funcionamiento de los aparatos eléctricos.

Todos estos problemas técnicos, generan a su vez pérdidas económicas por los siguientes motivos [56]:

- Paradas en planta debidas a los disparos intempestivos de los elementos de protección y mando.
- Sustitución con mayor frecuencia de los aparatos y máquinas dañados por la presencia de armónicos.
- Sobredimensionamiento de los conductores y de las potencias contratadas de una instalación.

Por todos estos motivos, se analiza la posible existencia de armónicos en la instalación de "Fundición, S.A".

La mayor o menor presencia de armónicos se mide con una magnitud conocida como Tasa de Distorsión Armónica (THD). La THD se calcula para tensión y para intensidad: THDV es la tasa de distorsión total en tensión y THDi es la tasa de distorsión total en corriente demandada en el instante i. El límite para considerar peligroso el valor de THDi es un 15%. En cambio, en el caso del valor de THDV a partir del 5% se considera que se deben realizar acciones necesarias para eliminarlos. Es decir, se debe evitar superar esos

valores, ya que si es así nos encontramos con problemas de armónicos. Estos umbrales son normalmente utilizados por las empresas, según se ha observado por varias páginas webs como por ejemplo la de la empresa “MECFI, S.L.” [57]. Aunque pueden variar, ya que no son valores fijos y son subjetivos.

En los siguientes gráficos observamos el funcionamiento de la acometida de servicios:

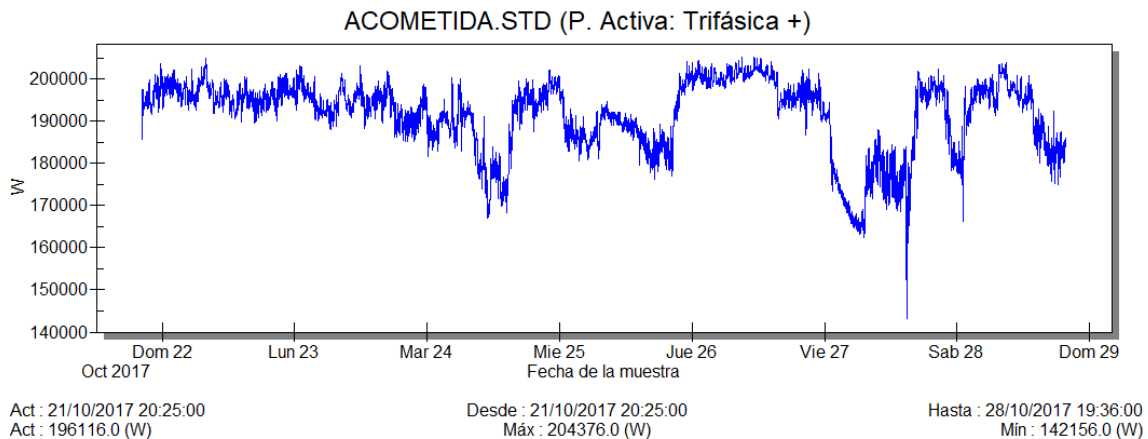


Gráfico 6-18.- Curva de potencia activa de la acometida de servicios durante una semana. (Fuente: Elaboración propia)

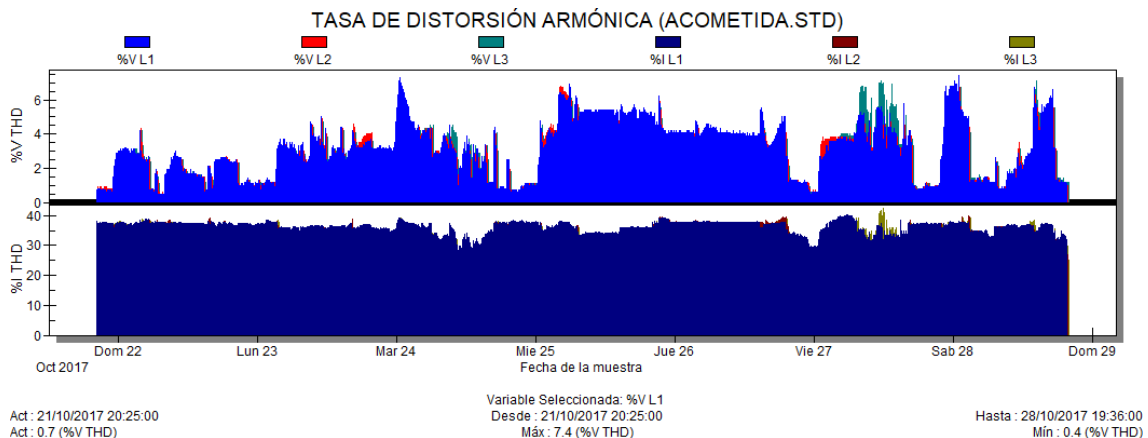


Gráfico 6-19.- Tasa de distorsión armónica de la acometida de servicios durante una semana. (Fuente: Elaboración propia)

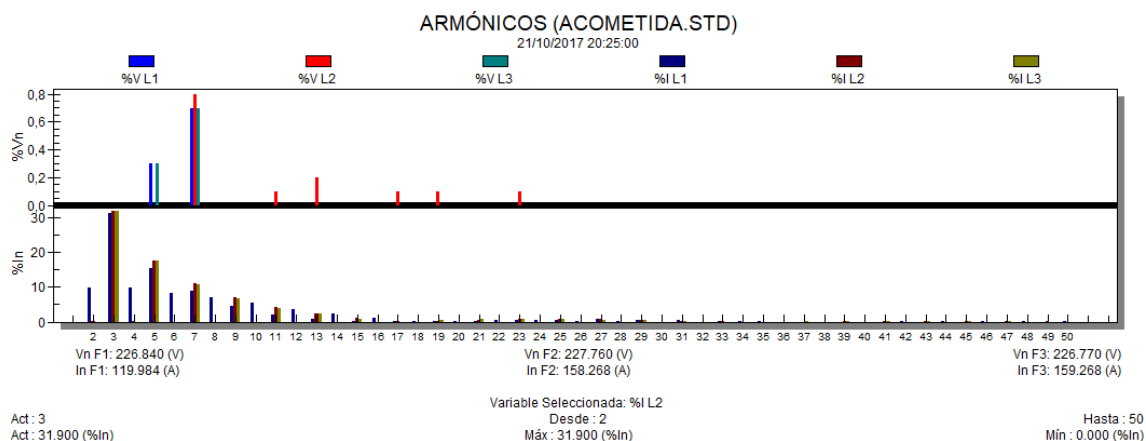


Gráfico 6-20.- Armónicos en la acometida de servicios. (Fuente: Elaboración propia)

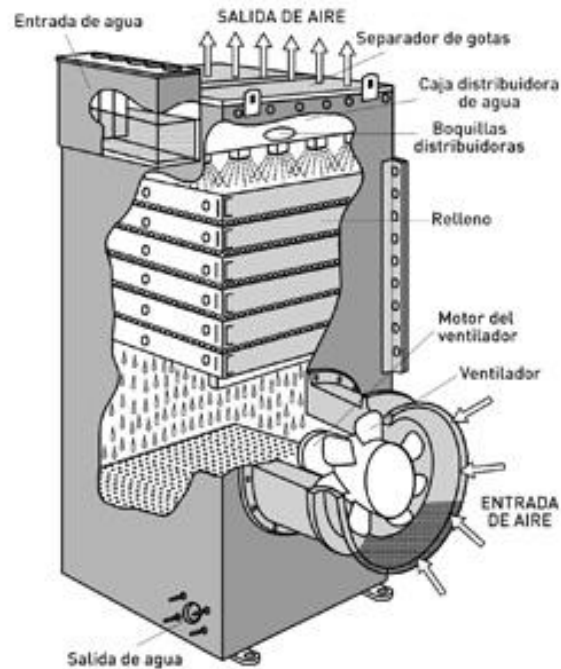
Analizando la acometida de servicios se comprueba que muchas veces se superan los valores de 5% para la THDV y de 15% para la THDi. Por este motivo, se podrían detectar problemas en el funcionamiento de la aparamenta o equipos que puedan estar asociados con armónicos. Si se diera ese caso, se aconseja la instalación de una batería de condensadores con filtro de rechazo de corrientes armónicas. Las corrientes armónicas más frecuentes serían las de orden 3, 5 y 7.

6.8. REFRIGERACIÓN DE LOS HORNOS DE INDUCCIÓN.

El sistema que calienta los hornos de fusión (H1, H2 y H3) y la propia bobina de inducción de los hornos están refrigerados por un circuito cerrado de agua para evitar que se dañen los equipos eléctricos y el sistema refractario de los hornos. Para esto se utilizan dos bombas, evitando así que estas se calienten.

En este circuito cerrado de agua de la planta se cuenta además con una torre de refrigeración evaporativa en el exterior para reducir la temperatura del circuito. El agua llega a la torre de refrigeración tras su paso por una central de bombeo y un sistema de distribución a grupos de inducción y hornos.

Una torre de refrigeración o enfriamiento es un dispositivo que nos permite disminuir la temperatura del agua con un bajo coste y ocupando un espacio bastante reducido. Además, las torres de refrigeración que se utilizan como sistema de climatización cuentan con una entrada de agua por la parte superior que va a parar a unos rociadores que vierten el agua sobre un material de relleno. A la vez que se produce esto, se fuerza al aire a circular desde las entradas inferiores a las superiores haciendo que el agua bajante se cruce con el aire que sube y parte se evapora. Este principio de funcionamiento se basa en que al evaporarse el agua esta absorbe energía de su alrededor y se enfría. Parte del agua inicial se pierde en el proceso al evaporarse y por este motivo la cantidad de agua que llega a la balsa inferior es menor que el agua rociada en la parte superior. Por esto, el sistema necesita una reposición de agua de forma automática en el circuito.



Cuadro 6-13.- Esquema de una torre de refrigeración evaporativa. (Fuente: [58])



Cuadro 6-14.- Torre de refrigeración evaporativa. (Fuente: [59])

En la actualidad, la planta cuenta con el siguiente grupo de bombeo para la refrigeración de los hornos:

Tabla 6-37.- Grupos de bombeo para la refrigeración de los hornos. (Fuente: Elaboración propia)

Circuito	Marca/Modelo	Potencia (kW)	Ie
Torre de refrigeración	PEDROLLO F65/160A	15	3
	CEMER IE1 EGG 160M2-2	15	1
	CEMER IE1 EGG 160M2-3	15	1
Horno 1	PEDROLLO F50/200AR	22	3
	PEDROLLO F50/200AR	22	3
Hornos 2 y 3	WA 11.160M -2 B5 PTC	11	
	WA 11.160M -2 B5 PTC	11	



Cuadro 6-15.- Electrobomba PEDROLLO F65/160A. (Fuente: [60])



Cuadro 6-16.- Motor CEMER IE1 EGG 160M2. (Fuente: [61])

En algunos casos la eficiencia de los motores de estas bombas puede ser baja. Sin embargo, no es aconsejable cambiarlas debido a que el coste de una bomba es bastante elevado, por ejemplo, la electrobomba PEDROLLO F65/160A tiene un precio aproximado de 1.200 euros. La instalación de una bomba de alto rendimiento con una amortización razonable sólo es justificada en caso de avería y se tenga que remplazar la misma.

Por otro lado, la refrigeración de los hornos es controlada mediante un cuadro de maniobra de forma manual con temporizador. No obstante, se han tomado registros y se ha comprobado que opera de manera continua. También se observa durante la monitorización que cuando se inicia una colada la demanda de energía eléctrica aumenta por la potencia demanda de una de las bombas.

En el siguiente gráfico se muestra la curva de carga del sistema de refrigeración de los hornos, de 3 días de septiembre de 2018, donde se observa lo comentado anteriormente:

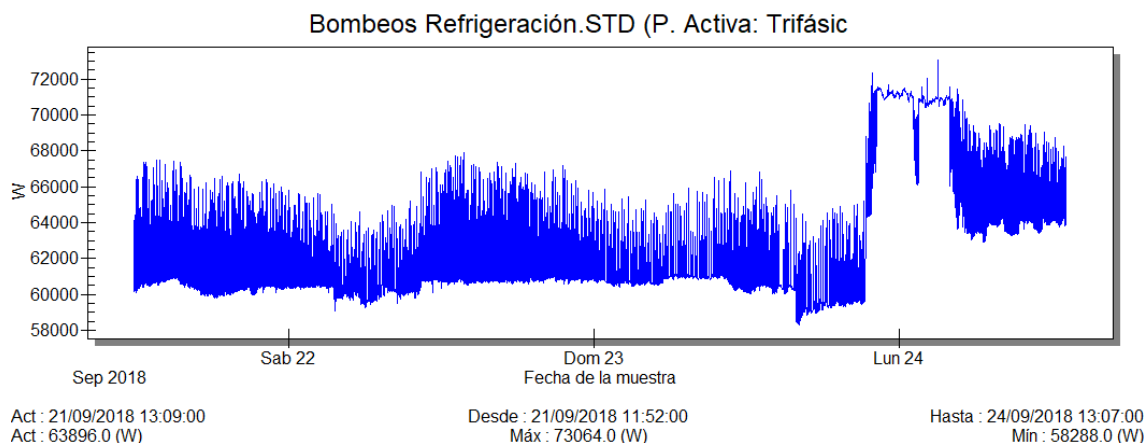


Gráfico 6-21.- Curva de carga del sistema de refrigeración de los hornos. (Fuente: Elaboración propia)

En el siguiente gráfico se comprueba que el sistema de refrigeración de los hornos se encuentra en funcionamiento más horas de las necesarias. Esto se debe a que el agua de refrigeración ya ha alcanzado una temperatura ambiente y sigue en funcionamiento. Este tipo de situaciones no deberían darse debido a que los contadores están programados para funcionar 14 horas, pero en varios casos continúan funcionando. Es decir, los hornos se encuentran siempre refrigerados pero este sistema es muy ineficiente.

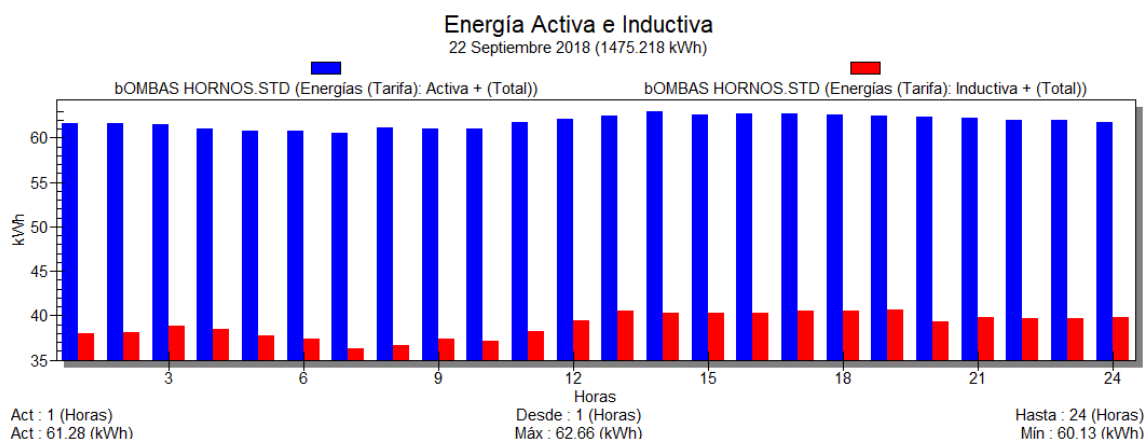
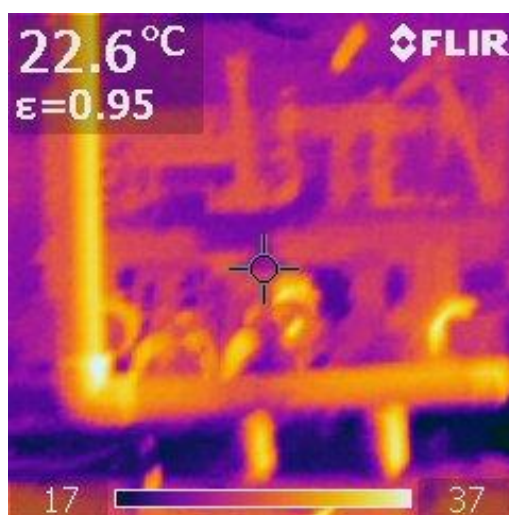


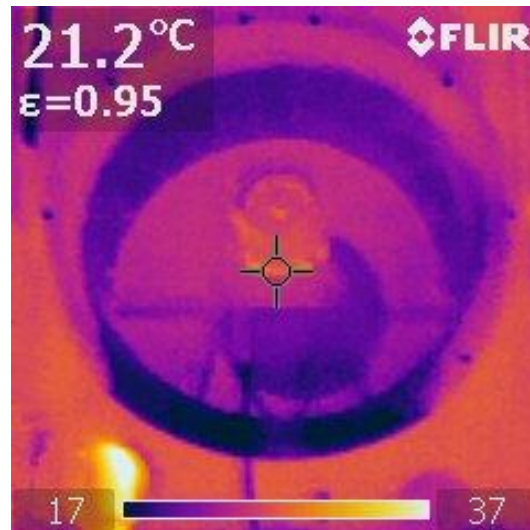
Gráfico 6-22.- Energía activa e inductiva de las bombas de los hornos. (Fuente: Elaboración propia)

Al funcionar de esta manera, más horas de las necesarias, se produce un **consumo anual adicional de al menos 213.137,50 kWh**. Este consumo innecesario produce un **sobrecoste de 17.485,31 euros**.

Para poder solucionar este problema y mejorar el sistema de refrigeración se propone la instalación de un sistema mediante termostato. Un termostato es un dispositivo que permite la regulación de la temperatura de manera automática, impidiendo que esta baje o suba de un valor prefijado, consiguiendo de esta manera un ahorro energético. A través de este termostato conseguiremos que el sistema de refrigeración se pare cuando llegue al grado de temperatura adecuado. Se debe tener en cuenta también que el sistema con el que cuenta la planta actualmente se estableció para evitar sobrecalentamientos y averías. Por este motivo, se propone un sistema de termostato con redundancia para que si se produce un fallo en el sistema se mantenga el sistema en funcionamiento. Para conseguir el efecto deseado en la instalación se deben utilizar 2 sondas en paralelo y un contactor normalmente cerrado, de esta manera si alguna de las dos sondas falla el sistema seguirá funcionando a través de la sonda restante. También si se produjera una avería en el contactor, las bombas y la torre de refrigeración seguirían funcionando. Se puede completar este sistema añadiendo una alarma por temperatura.



Cuadro 6-17.- Termografía del colector a media mañana. (Fuente: Elaboración propia)



Cuadro 6-18.- Termografía de la torre de refrigeración a media mañana. (Fuente: Elaboración propia)

Por otro lado, se propone la instalación de un sistema de control mediante un variador de frecuencia para las bombas de la torre de refrigeración, debido a que estas realizan un gran consumo dada su elevada potencia (15 kW cada una). Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que convierte la corriente de una determinada frecuencia en otra corriente con otra frecuencia [62]. A través del variador de frecuencia conseguiremos que en función de la diferencia de temperatura entre impulsión y retorno se varíe el caudal de las bombas de la torre de refrigeración. De esta manera, cuando solo esté trabajando un horno el caudal será mínimo y la temperatura del circuito será baja, y cuando estén funcionando todos los hornos el caudal será máximo. Por lo tanto, en el grupo de bombeo de la planta sería conveniente instalar controladores de frecuencia para variar la velocidad de las bombas en función de la señal que emiten unos sensores de temperatura y/o presión. Gracias a esta medida conseguiríamos reducir su consumo energético ya que las bombas no trabajarían siempre al 100% de su capacidad ni arrancarían ni pararían de golpe.



Cuadro 6-19.- Variador de frecuencia. (Fuente: [63])

Para entender la importancia de un sistema con variador de frecuencia debemos fijarnos en las “Leyes de afinidad” de las bombas centrífugas según las cuales existe una dependencia de la presión, el caudal y la potencia de la bomba [64]:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)$$

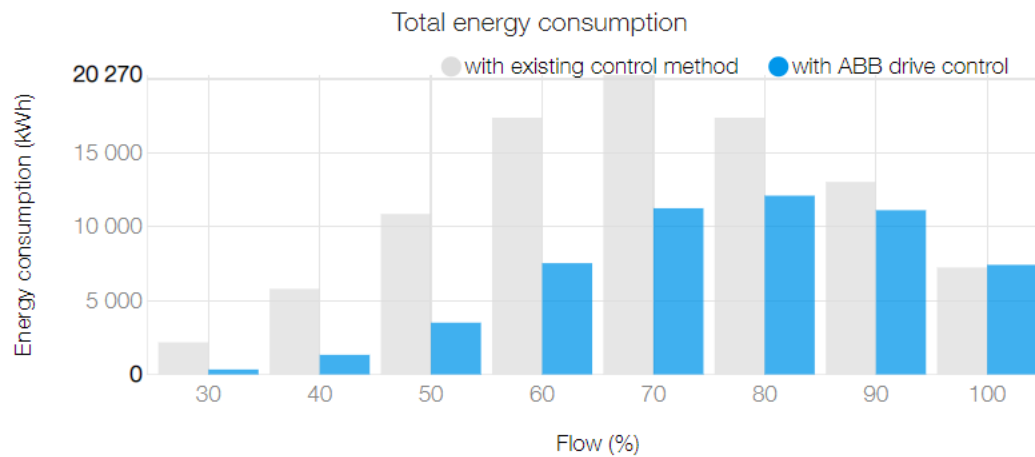
$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

Donde:

- N: Velocidad del eje de la bomba (r.p.m.).
- Q: Flujo volumétrico/Caudal (l/s).
- P: Potencia absorbida por el motor de la bomba (W).
- H: Presión estática de la bomba (m).

En estas fórmulas se puede comprobar que existe una relación entre la velocidad de la bomba y su potencia, la potencia aumenta con el cubo de la velocidad. También que la relación de potencias en 2 estados es directamente proporcional al cubo de la relación de los caudales. Por lo tanto, una pequeña reducción de la velocidad de la bomba puede resultar en un significativo ahorro de energía. Si por ejemplo una bomba funciona a la mitad de la velocidad, consumo solamente un 1/8 de la potencia que demandaría una bomba funcionando a toda velocidad.



Annual energy savings	39 524 kWh
Annual energy consumption with existing control method	94 109 kWh
Annual energy consumption with ABB drive control	54 585 kWh
Annual energy savings percentage	42 %
Annual electric energy savings	3 952 €
CO ₂ emission reduction	20 t/year

Gráfico 6-23.- Energía consumida por las bombas con un variador de frecuencia y sin él. (Fuente: [65])

Esto significa que con esta medida de mejora podríamos reducir considerablemente la energía consumida. No obstante, los variadores de frecuencia para bombas proporcionan otras importantes ventajas para la instalación, como son las siguientes [66]:

- Menores emisiones de CO₂.
- Mejora significativa del ciclo de vida de las bombas.
- Menor mantenimiento.
- Mejor control de caudal y presión.
- No se producen cavitaciones en las bombas.
- Eliminación de ruidos por vibraciones.
- Arranque suave de los motores.
- No es necesario arranques “estrella-triángulo” en motores que tienen gran consumo energético.
- Corrección del factor de potencia del motor.
- Eliminación de la energía reactiva.

Por todas estas ventajas es aconsejable también la instalación de un sistema con variador de frecuencia para el control de las bombas de la torre de refrigeración de la planta.

6.8.1. Propuesta de mejora: Control de la refrigeración de los hornos por temperatura.

Se propone la instalación de un sistema de control por termostato para cada circuito, con 2 sondas en paralelo, un contactor normalmente cerrado y una alarma por temperatura para hacerlo más estable y evitar daños. Esta medida supone un gran ahorro energético con una pequeña inversión, se lograría ahorrar anualmente unos **213.137,50 kWh** con un ahorro económico de **17.485,31 euros**.

Tabla 6-38.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO2/año)
Control de bombeos de los hornos y torre de refrigeración por temperatura	1.600,00 €	17.485,31 €	0,1	213.137,50	63.941,25

6.8.2. Propuesta de mejora: Instalación de un variador de frecuencia para el control de las bombas de la torre de refrigeración.

Se propone la instalación de un cuadro con variador de frecuencia para el control de las bombas de la torre de refrigeración de la planta. Gracias a este sistema conseguiremos adaptar el caudal de dichas bombas en función de la temperatura de retorno. A través de esta medida el ahorro energético anual generado es de **39.525 kWh** con un coste económico de **3.242,54 euros**.

Tabla 6-39.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO2/año)
Instalación de un variador de frecuencia para el control de las bombas de la torre de refrigeración, adaptando caudales a la demanda	4.700,00 €	3.242,54 €	1,45	39.525,00	11.857,50

6.9. AIRE COMPRIMIDO.

El consumo anual de los compresores es de **389.851 kWh** representando el 4,96% del consumo total de la planta. Este consumo supone un coste anual para “Fundición, S.A” de **31.982,48 euros**.

6.9.1. Generación.

La planta de “Fundición, S.A.” cuenta con una instalación de aire comprimido, está instalación se alimenta gracias a dos compresores de tornillo de 55 kW cada uno.

Los compresores de aire son unos aparatos que sirven para proporcionar aire comprimido empleado en determinadas herramientas y máquinas. El compresor toma

un gas (aire) que después comprime. En este caso, son utilizados para los servicios de acabado y arena, y en distintos servicios auxiliares.

El aire comprimido no solo es comprimido, sino que también es tratado para eliminar la presencia de humedad y posibles impurezas. El aire comprimido debe considerarse una masa de aire que se encuentra sometida a una presión mayor a la atmosférica. Esta capacidad de compresión del aire comprimido puede ser explicada a través de las leyes de los gases, siendo la de Boyle-Mariotte la que mejor define el aire comprimido. Esta ley dice que la presión que se ejerce por una determinada fuerza es inversamente proporcional al volumen de una masa gaseosa, considerando que la temperatura se mantenga constante [67].

Los tipos de compresores se clasifican dentro de dos categorías, dependiendo de su principio de funcionamiento básico: Compresores de desplazamiento positivo y compresores dinámicos. Los compresores de tornillo son compresores de desplazamiento positivo. El principio de funcionamiento de los compresores de desplazamiento positivo se basa en una disminución del volumen situado en la cámara de compresión donde este está confinado, produciéndose de esta manera un incremento de la presión interna hasta llegar al valor previsto de diseño. Cuando esto último se produce, el aire se libera al sistema [68].

Los compresores de tornillo son unos de los más usados en la actualidad ya que presentan grandes prestaciones. Este tipo de compresor también es conocido como compresor rotativo o compresor helicoidal. Está formado por dos tornillos giratorios dentro de una carcasa en la que giran de forma simultánea y en sentido contrario. Estos dos rotores tienen una geometría diferente, llamándose macho al compuesto por 4 lóbulos y hembra a aquel que tiene 6 alvéolos [69].

El proceso de funcionamiento de un compresor de tornillo es el siguiente [70]:

1. Aspiración: El aire ingresa en el compresor a través de la entrada de aspiración. De esta manera se rellenan los huecos entre los lóbulos, los alvéolos y la carcasa. El aire circula longitudinal y directamente a la zona contraria a la aspiración. Esta fase finaliza al ocupar el fluido toda la longitud del rotor.
2. Compresión: El desplazamiento continuo de los tornillos hace que el aire se acumule en la zona de compresión hasta alcanzar la presión que requiere el equipo.
3. Descarga: El aire se descarga por la tubería de descarga continuamente hasta que el espacio entre los rotores desaparece, presurizando el sistema al que se encuentra conectado el compresor.

El diseño de estos tipos de compresores helicoidales está basado en el tornillo de Arquímedes, el cual consiste en una espiral montada sobre un cilindro. Sin embargo, el diseño en el caso de los compresores es más complejo porque su trabajo se basa en el funcionamiento de dos tornillos girando en paralelo y sus perfiles están desarrollados de una forma especial para conseguir la máxima eficiencia del sistema.

Por otro lado, el compresor de tornillo tiene un gran número de ventajas como son una regulación de potencia sencilla, una buena calidad del aire, mantenimiento mínimo, mayor vida útil del equipo y un gran rendimiento, entre otras [71].

A continuación, se muestra una tabla con las características de los compresores y el secador instalados en “Fundición, S.A.”. Todos ellos son de la marca Atlas Copco.

Tabla 6-40.- Características principales de los compresores y el secador. (Fuente: [72])

Marca	Modelo	Potencia (kW)	Caudal (m3/min)
Atlas Copco	GA55VSD	55	1,56/11,28
Atlas Copco	GA55+	55	10,6
Atlas Copco	FX18	5	31,8



Cuadro 6-20.- Compresores Atlas Copco. (Fuente: [72])

Uno de los compresores es VSD (accionamiento de velocidad variable), este es un tipo de compresor que ajusta automáticamente la velocidad de accionamiento para satisfacer las fluctuaciones de la demanda. De esta manera, se produce un ahorro energético y también económico. Otras ventajas de este tipo de compresores son las siguientes [73]:

- Toda la potencia que se necesite es proporcionada solo cuando se necesite.
- Mejor calidad del producto.
- Se reducen los costes de producción.
- Aumentan los rendimientos.
- Se prolonga la vida útil de los equipos.
- Menores tiempos de parada.
- Menores costos en la red.

Por otro lado, “Fundición, S.A.” cuenta con un acumulador de aire comprimido de 1000 litros.



Cuadro 6-21.- Depósito de aire comprimido de alta presión Atlas Copco. (Fuente: [74])

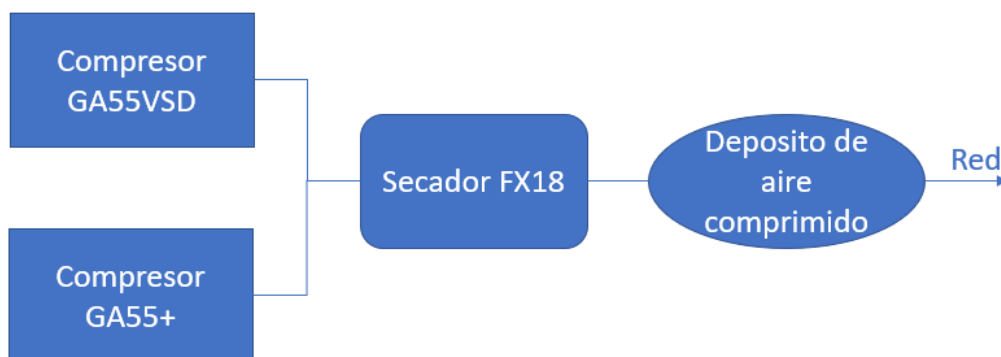


Gráfico 6-24.- Esquema de la generación de aire comprimido en la planta. (Fuente: Elaboración propia)

Para la generación del aire comprimido, “Fundición, S.A.” tiene un módulo electrónico Elektronikon instalado en los compresores, que proporciona una avanzada técnica de monitorización y control electrónicos [75]. En el módulo están definidas las bandas de

presión entre las que trabajan los compresores, cada uno tiene la suya. A continuación, se muestran las configuraciones de cada uno de los compresores:

GA55VSD:

- Punto de ajuste 1 – 8 bar.
 - Parada indirecta nivel – 8,5 bar / parada directa nivel – 9,0 bar.
- Punto de ajuste 2 – 8 bar.
 - Parada indirecta nivel – 8,3 bar / parada directa nivel – 9,0 bar.

Se emplea el punto de ajuste 1.

GA55+:

- Banda de presiones 1 – Carga a 6,6 bar / descarga a 8,0 bar.
- Banda de presiones 2 – Carga a 7,9 bar / descarga a 8,0 bar.

Se emplea la banda de presiones 1.

Con la configuración actual de los compresores, se puede analizar su comportamiento. Primero, el compresor GA55VSD cuenta con un variador de frecuencia y ajuste de velocidad, como ya hemos explicado anteriormente. Esto hace que el compresor intente mantener una presión de consigna de 8 bares. Cuando la demanda de aire comprimido es baja y el compresor está al mínimo, la presión continúa subiendo hasta llegar a 8,5 bares. En ese momento, el compresor se parará y arrancará de nuevo cuando la presión esté por debajo de 8 bar.

Si la demanda de aire comprimido es alta, el compresor GA55VSD funcionará al 100%. Sin embargo, si aún con ese compresor no es suficiente para cubrir toda la demanda de aire comprimido de la instalación, la presión bajará por debajo de 8 bares. Si continúa bajando la presión hasta llegar a 6,6 bares, en ese momento entrará en carga el compresor GA55+. Este compresor no cuenta con variador de frecuencia, por lo tanto, estará en carga hasta alcanzar los 8 bares.

Resumiendo, la configuración actual es correcta si se tiene en cuenta que la presión mínima necesaria es de 8 bares. Así todo, se recomienda bajar 0,1 bares la presión de descarga del GA55+ hasta 7,9 bares, puesto que con esto se evitaría que dicha presión de descarga se solapase con la presión de consigna del GA55VSD y así dejar de funcionar el compresor sin variador de frecuencia.

Por otro lado, se han analizado los registros de ambos equipos que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6-41.- Registro de los compresores. (Fuente: Elaboración propia)

	Día	Día	Tiempo	Tiempo
	01/10/2018 12:43	27/08/2018 11:47	35,04	365
GA55VSD				
Arranques ventilador	387218	381061	6157	64135
Arranques de motor	750	724	26	271
Horas de marcha	21273	20701	572	5958
Volumen acumulado (m3)	2830958	2792788	38170	397604
Horas del módulo	29407	28574	833	8677
Carga sobre funcionamiento	72,34%	72,45%	68,67%	68,67%
GA55+				
Horas en carga	5645	5549	96	1000
Arranques de motor	90783	89516	1267	13198
Horas del módulo	29423	28582	841	8760
Horas de marcha	11835	11659	176	1833
Volumen acumulado (m3)				636100
Carga sobre marcha	47,70%	47,59%	54,55%	54,55%

Como se puede observar en los datos de los registros, el compresor GA55VSD funciona casi el doble de horas que el GA55+. Esto es algo positivo puesto que es el compresor que cubre la mayor parte de la demanda regulando el caudal generado a través del variador de frecuencia y solo arranca el otro compresor cuando no se consigue cubrir la demanda con el primero.

En la tabla se han mostrado las lecturas de los compresores dos días diferentes, entre ambas lecturas han transcurrido aproximadamente 35 días. Durante estos 35 días el compresor GA55VSD ha pasado de estar en marcha el 72,45% del tiempo de conexión a estar en marcha el 68,67% y el compresor GA55+ ha aumentado el grado de carga de 47,59% a 54,55%. Esto significa que las instalaciones de “Fundición, S.A.” han sufrido un cambio de demanda, haciendo que aumente la utilización del compresor GA55+ sin variador de frecuencia y empeorando el rendimiento del conjunto por este motivo.

A continuación, se muestra la ficha técnica del GA55VSD.

Tabla 6-42.- Especificaciones técnicas GA 37-75 VSD. (Fuente: [72])

Tipo	Presión de trabajo		Capacidad FAD* (mín.-máx.)						Potencia instalada del motor	
	bar(e)	psig	l/s		m³/h		cfm		kW	CV
Versión a 50/60 Hz										
GA 37 VSD+	4	58	26	132	94	475	55	280	37	50
	7	102	26	130	94	468	55	275	37	50
	9.5	138	25	115	90	414	53	244	37	50
	12,5	181	38	98	137	353	81	208	37	50
GA 45 VSD+	4	58	26	157	94	565	55	333	45	60
	7	102	26	155	94	558	55	328	45	60
	9.5	138	25	136	90	490	53	288	45	60
	12.5	181	38	114	137	410	81	242	45	60
GA 55 VSD+	4	58	26	189	94	680	55	400	55	75
	7	102	26	188	94	677	55	398	55	75
	9.5	138	26	166	94	598	55	352	55	75
	12.5	181	40	140	144	504	85	297	55	75
GA 75 VSD+	4	58	26	226	94	814	55	479	75	100
	7	102	27	225	97	810	57	477	75	100
	9.5	138	27	198	97	713	57	420	75	100
	12.5	181	41	167	148	601	87	354	75	100

En esta ficha técnica se muestra que a 9,5 bares el compresor da un caudal máximo de 598 m³/h de aire comprimido y a 7 bares da un caudal máximo de 677 m³/h. Por lo tanto, a 8 bares, el compresor generará aproximadamente un máximo de 645,4 m³/h. Si reducimos la presión a 7,8 bares el caudal de trabajo máximo pasará a ser 651,7 m³/h, de esta manera se conseguirían 6,3 m³/h más.

Por lo tanto, si reducimos las presiones de consiga de GA55VSD en 0,4 bares (7,6 bares la presión de consigna) se conseguiría ahorrar energía. La energía consumida por el compresor se reduciría un 3,26%.

Un problema que podría surgir al realizar esta variación podría ser el mal funcionamiento de algunos equipos, la solución consistiría en la instalación de un pequeño calderín a la entrada de estos para poder mantener estable una entrada de aire comprimido. Sin embargo, se comprueba que esta actuación no va a suponer un problema porque los equipos trabajan con presiones inferiores a 7,6 bares, normalmente con presiones próximas a 7 bares.

Otra cosa a tener en cuenta es el aumento de la temperatura. Un aumento en la presión implica un aumento en la temperatura en el aire comprimido, además de un aumento de la energía térmica. Aproximadamente un 80% de la energía que se emplea para la compresión del aire se transforma en calor y no es aprovechada energéticamente.

La fórmula del trabajo de un compresor es la siguiente [76]:

$$W_{comp} = \frac{\gamma \times R}{\gamma - 1} \times T_1 \times \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

Donde:

- γ : Coeficiente de dilatación adiabática.
- R: Constante universal de los gases ideales ($\frac{\text{bar} \times \text{cm}^3}{\text{mol} \times \text{K}}$)
- T_1 : Temperatura de entrada al compresor (K).
- P_2 : Presión a la salida del compresor (bar).
- P_1 : Presión a la entrada del compresor (bar).

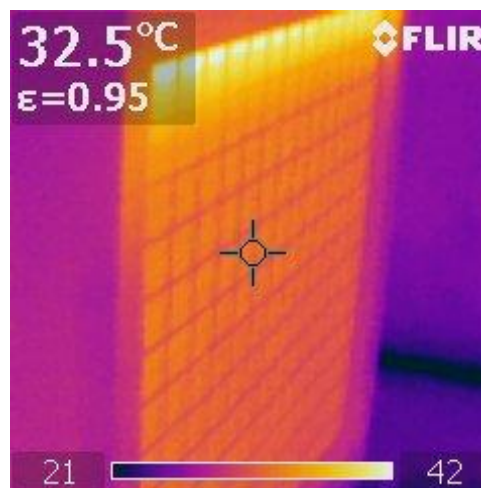
En la fórmula se observa que la temperatura de entrada del aire al compresor afecta al trabajo del compresor y, por tanto, a su rendimiento. El trabajo del compresor es directamente proporcional a la temperatura del aire. De esta manera, por cada 4 grados centígrados (°C) que bajemos la temperatura de entrada, se reduciría el consumo de energía en aproximadamente un 1%.

Para reducir el consumo energético necesitamos bajar la temperatura del aire que entra al compresor. En el caso de “Fundición, S.A.” lo podemos lograr de dos maneras diferentes:

1. Realizar una correcta ventilación de la sala donde se encuentra el compresor.
2. Conducir la salida del aire caliente de los compresores hacia el exterior.

El primer punto ya se está realizando en la actualidad en la sala de los compresores.

Además, se puede optimizar el funcionamiento del sistema teniendo el filtro del aire de los compresores en buen estado y realizando un correcto mantenimiento de los equipos.



Cuadro 6-22.- Termografía de la entrada de aire del compresor. (Fuente: Elaboración propia)

Se han monitorizado los dos compresores, controlando de esta manera el consumo energético del equipo durante dos semanas, 24 horas y en horario nocturno, obteniendo los siguientes datos del consumo:



Gráfico 6-25.- Curva de carga de los compresores durante 2 semanas.



Gráfico 6-26.- Curva de carga de los compresores durante 24 horas.



Gráfico 6-27.- Curva de carga nocturna de los compresores.

De las anteriores gráficas se comprueba que existe una demanda muy variable a lo largo del día y que se cubre sin problemas con los dos compresores presentes en la planta. También hay muchas fluctuaciones debidas en su mayoría a los ajustes de las bandas de presiones.

Por la noche no existe demanda de aire comprimido por la instalación, puesto que no es necesario. Sin embargo, hay un consumo residual por parte de los compresores.

Para evitar este consumo de energía innecesaria, se aconseja revisar el ajuste de las bandas de presión y la configuración del compresor para que se pare en aquellos momentos que no existe demanda.

Considerando el consumo energético de ambos equipos y el volumen de aire comprimido por los mismos, obtenemos un ratio de 0,3778 kWh/m³, con un coste asociado de **0,0309 €/m³**. Éste es un coste bastante elevado para este tipo de instalaciones.

6.9.2. Propuesta de mejora: Ajuste de la banda de presiones.

Como medida de mejora, se propone ajustar la banda de presiones de los compresores. Primero, reducir la presión de trabajo a una consigna de 7,6 bares en el GA55VSD y reducir la banda de trabajo en el GA55+ a 6,4-7,5 bares. Esta medida llevaría asociado un ahorro anual de **12.709,14 kWh**, con un coste asociado de **1.042,63 euros**.

Después, si se verifica el correcto funcionamiento de toda la planta, se puede seguir reduciendo la banda de presiones en su margen superior hasta un valor de 7 y 7,5 bares, ya que como hemos visto la demanda de la instalación es próxima a 7 bares y suelen ser presiones de consigna estándar en la mayoría de las industrias.

Tabla 6-43.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO2/año)
<i>Ajuste de la banda de presiones</i>	-	1.042,63 €	-	12.709,14	3.812,74

6.9.3. Propuesta de mejora: Apagar los compresores por la noche.

Durante la noche se ha podido comprobar que el compresor GA55VSD está continuamente en carga y descarga a su mínima potencia para cubrir un consumo mínimo de fugas, ya que el aire comprimido no es necesario por la noche. Por lo tanto, se propone como medida de mejora la programación del compresor GA55VSD para que se pare tras un determinado tiempo sin demanda.

La realización de esta medida llevaría asociado un ahorro energético anual de **87.047,72 kWh** y un ahorro económico anual de **7.141,19 euros**.

Tabla 6-44.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO2/año)
Apagar los compresores por la noche	-	7.141,19 €	-	87.047,72	26.114,32

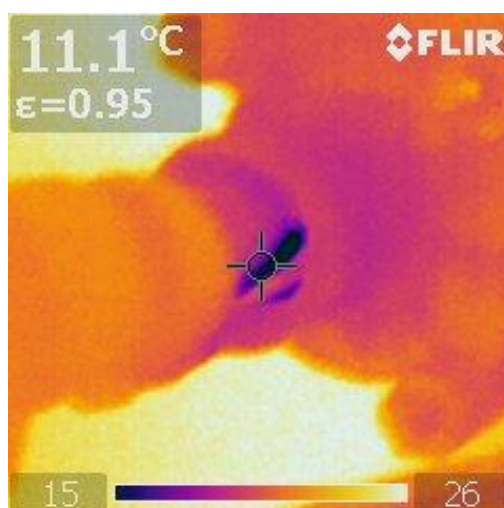
6.9.4. Distribución y consumo de aire.

La distribución del aire comprimido de “Fundición, S.A.” se realiza a través de una serie de conductos que recorren las naves de la planta, dando servicio a todas las máquinas e instalaciones que demandan aire comprimido.

Son bastante variadas las aplicaciones que tiene el aire comprimido en la planta, se detallan a continuación las más relevantes:

- Sistema de alimentación neumático de las diferentes máquinas y herramientas utilizadas en la zona de cabinas de la nave, principalmente herramientas de mano para la eliminación de rebabas y realización de ajuste final de las piezas de fundición.
- Granallado y limpieza del filtro de las máquinas granalladoras y chorro.
- Actuadores de máquinas para el llenado de moldes con arena.
- Máquinas neumáticas para la eliminación de arena de las piezas fundidas.
- Máquinas de corte por plasma.
- Transporte de arena neumático desde la máquina recuperadora de arena hasta el silo de almacenamiento de arena.
- Limpieza de los filtros encargados de eliminar las partículas metálicas que se encuentran en suspensión en el aire en las cabinas de operaciones.

Al tratarse la empresa de una fundición, hay un elevado nivel de ruido en las instalaciones haciendo que el ruido que provocan las fugas de aire sea casi imperceptible lo que dificulta su detección.



Cuadro 6-23.- Termografía de una fuga de aire comprimido en una máquina. (Fuente: Elaboración propia)

Estas fugas de aire comprimido de la instalación representan una gran pérdida de aire comprimido, con su consecuente coste económico, llegando a perderse por este motivo hasta el 30%, y en caso extremos hasta el 50% de la producción de aire. Es decir, existe una gran generación constante de aire comprimido que en gran medida es destinada a cubrir la demanda de aire comprimido de las fugas.

Normalmente, una instalación correcta presenta unas pérdidas por fugas entre el 5% y el 10% de la producción de los compresores, siempre que se cuente con un correcto mantenimiento y un sistema de control de fugas. Estas fugas, además del gran consumo energético que se desperdicia, pueden provocar las siguientes consecuencias [77]:

- Exceso de la capacidad del compresor, provocando unos costes más altos de los necesarios. Incluso puede surgir la necesidad de instalar capacidad de compresión adicional innecesaria.
- Fluctuaciones y caídas de presión que afectan a las herramientas de aire y a otros equipos haciendo que funcionen de una manera menos eficaz haciendo la producción menos eficiente.
- Al tener que funcionar los equipos durante más tiempo, los ciclos de trabajo de los compresores son más cortos, se produce una disminución de su vida útil y requieren un mayor mantenimiento.

Por otro lado, para tener una idea del consumo y del coste anual que representa una fuga de aire comprimido se puede observar la siguiente tabla. En dicha tabla, se realizan unos ejemplos de pérdidas ocasionadas por orificios de diferentes diámetros basados en la ecuación de S.A. Moss para orificios perfectamente circulares y caudal en condiciones normales [78]:

$$V = 423 \times a \times \frac{C \times P}{\sqrt{T}}$$

Donde:

- V: Flujo de aire (pcm).
- a: Área del orificio (pulg²).
- C: Coeficiente de flujo, para orificios bien redondeados se toma 0,97; para los orificios con bordes salientes y agudos puede usarse 0,65.
- P: Presión absoluta (psi).
- T: Temperatura absoluta (°R).

También se aplica el precio de la electricidad de “Fundición, S.A.” 0,0820 €/kWh y suponiendo un precio medio de generación del aire comprimido de 0,0309 €/m³.

Tabla 6-45.- Pérdidas ocasionadas por orificios de diferentes diámetros. (Fuente: Elaboración propia)

Diámetro	Presión	Pérdidas		Coste
(mm)	(bar)	(m3/h)	(m3/año)	(€/año)
0,4	7,5	0,69	6.044	186,77 €
0,79	7,5	2,75	24.090	744,38 €
1,59	7,5	11,03	96.623	2.985,64 €

En la tabla se muestra claramente cómo las pérdidas de fugas a través de pequeños orificios en el sistema de aire comprimido suponen un gran coste económico.

Además, se deben tener en cuenta otras pérdidas operativas como hemos comentado anteriormente como son [79]:

- Costes de mantenimiento: Los compresores tratan de mantener la presión que está establecida en el sistema, no obstante, con la presencia de fugas, los compresores deben operar mayor tiempo. De esta manera, se reducen los intervalos para el mantenimiento del compresor y los elementos que integran la parte del tratamiento, incrementando así los costes de operación y el tiempo de servicio se acorta. Otro problema podría ser no contar con un equipo de respaldo, ya que al requerir mantenimiento en intervalos más cortos aumentan los tiempos de paro del equipo para realizar el mantenimiento preventivo.
- Bajo rendimiento en las máquinas: La presión disminuye por la demanda excesiva de las fugas haciendo que las máquinas y herramientas neumáticas se vuelvan más lentas. Esto da como resultado una baja productividad o en algunos casos daños en el producto por mal funcionamiento de la máquina, elevando los costes de producción.
- Contaminación auditiva: El plan de detección y corrección de fugas, además de realizarse por cuestiones económicas, también se realiza para tener un buen ambiente laboral. Los tonos elevados y continuos son molestos y en las actividades laborales pueden producir una disminución del rendimiento de un trabajador, como lo registran algunos estudios de salud auditiva [80].

6.9.5. Propuesta de mejora: Reducción de fugas y formación sobre el uso del aire comprimido.

Después de todo lo explicado en el apartado anterior, es recomendable minimizar lo máximo posible las pérdidas por fugas. Se propone la realización de las siguientes medidas:

- En primer lugar, se recomienda llevar a cabo una **reparación de fugas**. Antes de la reparación es necesaria una identificación de las fugas, realizando una auditoría de fugas.
- En segundo lugar, la **instalación de válvulas de corte en las líneas de aire comprimido de uso puntual**.
- En tercer lugar, la **instalación de válvulas de corte en las líneas de alimentación a las máquinas e implementar un sistema que las cierre automáticamente cuando las máquinas entren en paro** (electroválvulas normalmente cerradas enclavadas con la conexión de las máquinas).

En el primer punto se ha mencionado que es necesario realizar una auditoría de fugas.

Una auditoría de fugas consiste en la realización de un recorrido a través de las tuberías del sistema con una pistola de ultrasonidos en busca de fugas. Una vez que estas fugas son detectadas, deben ser etiquetadas con un número de fuga, ubicación y severidad. Estas etiquetas deben permanecer en el lugar de la fuga hasta que sean reparadas [79].

Cuando se ha terminado con el etiquetado, se debe realizar un conteo de fugas y generar un coste estimado por desperdicio de energía.

Para la realización de la auditoría de fugas es necesario la utilización de un detector ultrasónico de fugas, como se ha comentado anteriormente. El funcionamiento de este tipo de equipos se basa en las turbulencias generadas por el aire de la fuga al pasar de alta a baja presión. Estas turbulencias generan un componente acústico de alta frecuencia (ultrasonidos) que es detectado por un elemento piezoeléctrico sensible. Este genera un impulso eléctrico que se amplifica y se traduce a una frecuencia audible. Este sensor permite al operario que esté utilizando el detector guiarlo hasta el punto con un sonido más alto y así ayudando a la localización de la fuga. Algunos modelos vienen equipados con una pantalla donde se muestra el nivel de ruido en decibelios. Además, este tipo de equipos tiene alguna ventaja como que su utilización es rápida y sencilla, y no se ven afectados los resultados por el ruido de la planta.

Durante este proceso, se tendrá más cuidado en aquellas zonas donde se suelen localizar las principales fuentes de fugas como podrían ser en las conexiones directas a máquinas o cerca de los puntos de consumo. Además de las siguientes zonas: Válvulas, reguladores, juntas de tuberías y mangueras, conexiones rápidas y herramientas neumáticas.



Cuadro 6-24.- Detector ultrasónico de fugas. (Fuente: [81])

El precio de estos detectores ultrasónicos está en torno a 250€, según varias marcas [82]. Este será la única inversión necesaria para reparar las principales fugas de aire comprimido en “Fundición, S.A.”. Esto se debe a que el coste de estas reparaciones es despreciable porque el material que es necesario emplear suele estar en stock en la empresa (abrazaderas, enchufes, etc.), incluso en algunas ocasiones no es necesario material. En este último caso, solo sería necesario mano de obra. Esta mano de obra es

del propio personal del departamento de mantenimiento de la empresa, por lo tanto, no se considera su coste.

A continuación, se calculan los ahorros que se obtendría con una reducción de las principales fugas detectadas en la planta, así como los usos indebidos del aire comprimido. Se ha establecido como objetivo óptimo la reducción de fugas de todas las redes hasta un porcentaje aproximado de un 10%. Este porcentaje es aceptable debido a las características de “Fundición, S.A.”, y la eliminación de consumos no necesarios o superfluos.

Para realizar esta propuesta se deberá realizar una inversión de 250€, el precio del detector ultrasónico. Consiguiendo un ahorro energético de **87.970,20 kWh al año**.

Por otro lado, el ahorro económico sería de **7.216,87 euros al año**.

Tabla 6-46.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO2/año)
Reducir las principales fugas (fugas claramente identificadas) y reducción de consumos superfluos	250,00 €	7.216,87 €	0,03	87.970,20	26.391,06

6.10. ILUMINACIÓN.

La iluminación es uno de los aspectos claves que deben ser analizados en una auditoría energética. En este caso, según la situación actual de iluminación se desarrollará una propuesta de mejora para obtener una situación futura más eficiente.

6.10.1. Iluminación actual.

Para poder determinar la situación actual de iluminación, se ha realizado una visita a “Fundición, S.A.” por las diferentes zonas pertenecientes a la empresa comprobando tanto la iluminación interior como la exterior.

En las siguientes tablas, se resume el inventariado realizado de las diferentes zonas:

Tabla 6-47.- Inventario de la iluminación actual interior. (Fuente: Elaboración propia)

ZONA	UBICACIÓN	Nº Luminarias	Tipo de luminaria	Balasto	P(W)/ Lámpara	Tipo	P (W) Instalada	CONSUMO kWh/año
NAVE FUNDICIÓN	General	28	Campana HM 400W	BEM	400	HM	11.900	83.895
		13	Proyector HM 400W	BEM	400	HM	5.525	38.951
OFICINAS	Zona Común	15	Pantalla 4x18 BEM	BEM	18	FT	1.260	3.276
	Informática	2	Pantalla 4x18 BEM	BEM	18	FT	168	6
	Aseos	4	Downlight 2x18 BEM	BEM	18	FC	184	96
	Despacho 1	4	Pantalla 4x18 BEM	BEM	18	FT	336	786
	Despacho 2	4	Pantalla 4x18 BEM	BEM	18	FT	336	786
	Despacho 3	4	Pantalla 4x18 BEM	BEM	18	FT	336	786
	Despacho 4	4	Pantalla 4x18 BEM	BEM	18	FT	336	786
	Sala Reuniones	3	Pantalla 4x18 BEM	BEM	18	FT	252	197
		6	Downlight 2x18 BEM	BEM	18	FC	276	215
NAVE	Oficina Taller	8	Pantalla 4x18 BEM	BEM	18	FT	672	2.201
	Vestuarios	16	Pantalla 2x58 BEM	BEM	58	FT	2.080	1.704
	Comedor	7	Pantalla 4x18 BEM	BEM	18	FT	588	306
	Taller Mantenimient	5	Pantalla 2x58 BEM	BEM	58	FT	650	1.521
	Sala CGBT	3	Pantalla 2x58 BEM	BEM	58	FT	390	3.407
	Sala Trafos	6	Pantalla 2x36 BEM	BEM	36	FT	504	18
TOTAL		132					25.793	138.938

Tabla 6-48.- Inventario de la iluminación actual exterior. (Fuente: Elaboración propia)

ZONA	UBICACIÓN	Nº Luminarias	Tipo de luminaria	Balasto	P(W)/ Lámpara	Tipo	Lámpara + equipo (W)	CONSUMO kWh/año
Exterior	Postes	13	Luminaria vial VSAP 250W	BEM	250	VSAP	3.445	14.814
	Fachada	4	Luminaria vial VSAP 250W	BEM	250	VSAP	1.060	4.558
	Fachada	7	Proyector VSAP 250W	BEM	250	VSAP	1.855	7.977
TOTAL		24					6.360	27.348

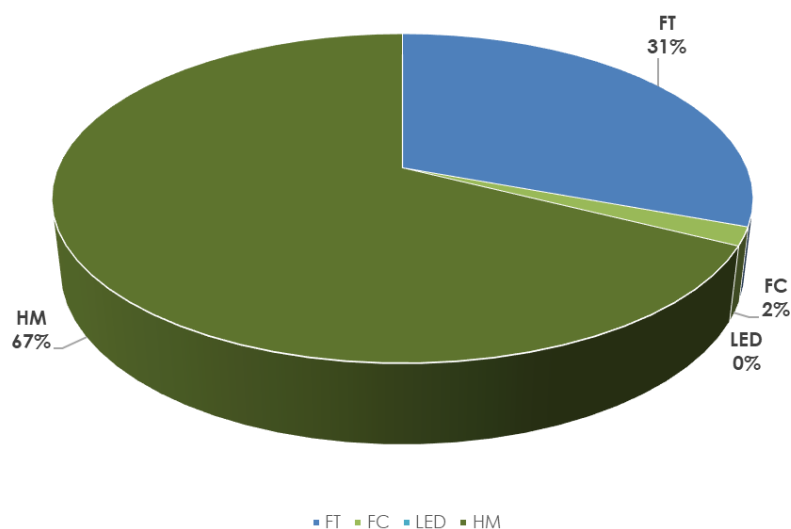


Gráfico 6-28.- Potencia instalada por tipologías en la iluminación interior. (Fuente: Elaboración propia)

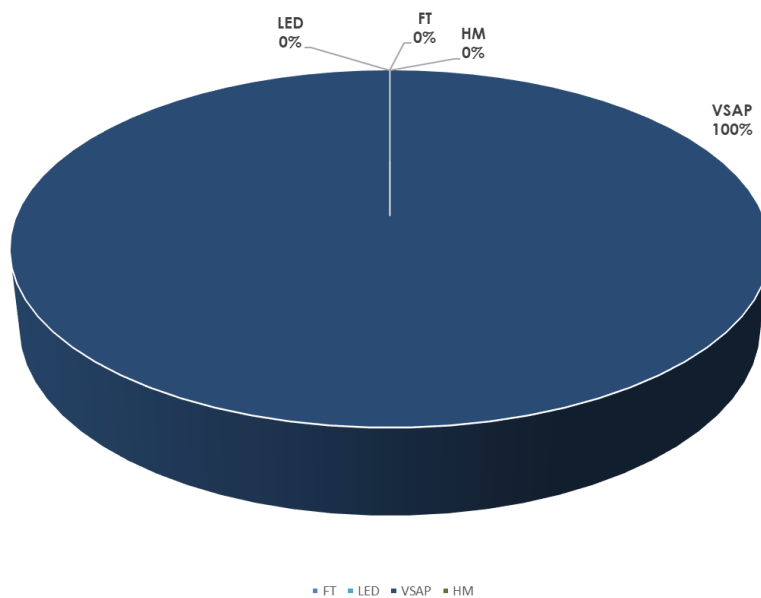


Gráfico 6-29.- Potencia instalada por tipologías en la iluminación exterior. (Fuente: Elaboración propia)

Observando las tablas, la mayor parte del consumo interior de “Fundición, S.A.” se produce en la nave de fundición con las campanas y los proyectores HM de 400W, y en la sala del centro general de baja tensión con las pantallas 2x58W. Por otro lado, la sala de los transformadores, la zona de informática, los aseos y el comedor son las zonas que menor consumo registran con pantallas 2x36W, pantallas 4x18W y downlight 2x18W.



Cuadro 6-25.- Campana HM 400W. (Fuente: [83])



Cuadro 6-26.- Pantalla 2x58W BEM. (Fuente: [84])

El consumo al año es de aproximadamente **138.938 kWh**, todo este consumo a través de tecnología BEM. Cuando nos referimos a tecnología BEM, quiere decir que las luminarias cuentan con un balastro electromagnético. Un balastro electromagnético sirve para mantener estable y limitar la intensidad de la corriente en las luminarias. El funcionamiento de los balastos electromagnéticos se basa en el campo magnético que genera una bobina de hilo conductor de cobre o aluminio arrollado sobre un núcleo formado por chapas metálicas, un arrancador y un condensador. El principal problema de este proceso es que al funcionar se radia una gran cantidad de calor, perdiendo así energía y restando eficiencia a nivel energético. Además, las bombillas que se encuentran conectadas a este tipo de equipos parpadean continua e imperceptiblemente debido a que funcionan mediante corriente alterna. Este parpadeo es negativo porque se puede llegar a perder hasta el 20% de luz. Por otro lado, los balastos electrónicos serían mucho mejores que los balastos electromagnéticos. Resumiendo, todas estas luminarias existentes cuentan con tecnología obsoleta, cuyos rendimientos son bajos y tienen unos altos consumos de energía [85].

Si nos centramos en la iluminación exterior, “Fundición, S.A.” cuenta con luminarias viales de vapor de sodio a alta presión tanto en fachada como en postes y con proyectores de vapor de sodio a alta presión en fachada, todos de 250W. Estos hacen aproximadamente un consumo anual de **27.348 kWh**.



Cuadro 6-27.- Luminaria vial VSAP 250W. (Fuente: [86])

6.10.2. Propuesta de mejora: Cambio a tecnología LED.

Se ha mostrado que la totalidad de la tecnología utilizada para la iluminación de “Fundición, S.A.” es obsoleta.

En el exterior se cuenta en la actualidad, como se ha explicado anteriormente, con vapor de sodio a alta presión (VSAP). Este tipo de luminarias antiguamente eran una de las más utilizadas en alumbrado público. Estas lámparas usan el vapor de sodio para producir luz y se caracterizan porque la luz que producen es amarillo brillante. Su gran desventaja es su mala reproducción cromática, su luz es de muy baja calidad. Otra desventaja sería que entre sus componentes se hallan plomo y mercurio, ambos componentes nocivos para el medio ambiente. Sin embargo, como característica positiva se podría señalar su excelente eficiencia [87].

Por otro lado, en la iluminación interior actual se cuenta con luminarias de halogenuro metálico (HM), fluorescencia tubular (FT) y circular (FC). Las lámparas de halogenuro metálico son una variedad de lámparas de vapor de mercurio. Se añaden aditivos metálicos en el interior del tubo de descarga para potenciar determinadas zonas de espectro visible de modo que aumentan su rendimiento, tanto luminoso como de color. Las principales desventajas de esta tecnología serían: Precio elevado, descarga inestable que implica distintas apariencias de color, rango limitado de posiciones, duración escasa en comparación con otras tecnologías y la utilización de materiales nocivos para el medio ambiente. Si nos centramos en la fluorescencia tubular o circular, es decir, en las luminarias fluorescentes, estas lámparas son de descarga de vapor de mercurio a baja presión y su principal ventaja es su eficiencia energética. Como desventajas se encuentran: un factor de potencia bajo, requieren compensación de energía reactiva, pueden producir efecto estroboscópico, no son aptas para la proyección, las potencias que presentan son relativamente pequeñas y esto limita su altura de instalación, la luz ofrecida es poco direccional y sus materiales también son nocivos para el medio ambiente [87].

Debido a esto, se propone una sustitución de la iluminación actual por una nueva con tecnología LED. A través de esta propuesta se pretende reducir el consumo energético y garantizar un ahorro económico. Esta tecnología, LED (Light-Emitting Diode) utiliza un diodo de unión p-n que emite luz cuando está activado. Las luminarias LED tienen muchas ventajas como que presentan una gran eficiencia, durabilidad y no contienen materiales nocivos, al contrario que las tecnologías explicadas anteriormente. Inicialmente este tipo de luminarias tenían un precio muy elevado, pero en la actualidad son asequibles. Además, cuentan con un reducido consumo energético, no consumen prácticamente energía reactiva, son totalmente regulables y se puede reducir la contaminación lumínica al ser totalmente regulables. Sin duda, este tipo de tecnología es la mejor elección debido a su eficiencia, rendimiento y seguridad [87].

En la siguiente tabla se muestran las luminarias de sustitución, las cuales se han elegido teniendo en cuenta la potencia óptima de la instalación, las horas de uso para poder determinar su nuevo consumo, el ahorro económico, la inversión necesaria por cada tipo de luminaria, su amortización y el ahorro de consumo de kWh si se realiza el cambio. Para aquellas luminarias que la inversión supere los 5 años, no se recomienda su sustitución y no se han tenido en cuenta en los ahorros.

Tabla 6-49.- Propuesta de cambio a tecnología LED en la iluminación interior. (Fuente: Elaboración propia)

ZONA	UBICACIÓN	Tipo de luminaria de sustitución	P (W) Instalada	Nuevo consumo (kWh)	Ahorro (€/año)	Inversión necesaria	Amortización	INVERSIÓN RECOMENDADA	Ahorro kWh con cambio recomendado
NAVE FUNDICIÓN	General	Campana LED 150W	4200	29.610	3.792,14 €	8.400,00 €	2,22	8.400,00 €	54.285
		Proyector LED 150W	1950	13.748	1.760,63 €	2.402,40 €	1,36	2.402,40 €	25.204
OFICINAS	Zona Común	Pantalla LED 25W	375	975	160,74 €	720,00 €	4,48	720,00 €	2.301
	Informática	Pantalla LED 25W	50	2	0,29 €	96,00 €	>10	0,00 €	0
	Aseos	Downlight LED 13W	52	27	4,79 €	103,60 €	>10	0,00 €	0
	Despacho 1	Pantalla LED 25W	100	234	38,58 €	192,00 €	4,98	192,00 €	552
	Despacho 2	Pantalla LED 25W	100	234	38,58 €	192,00 €	4,98	192,00 €	552
	Despacho 3	Pantalla LED 25W	100	234	38,58 €	192,00 €	4,98	192,00 €	552
	Despacho 4	Pantalla LED 25W	100	234	38,58 €	192,00 €	4,98	192,00 €	552
	Sala Reuniones	Pantalla LED 25W	75	59	9,64 €	144,00 €	>10	0,00 €	0
NAVE	Oficina Taller	Downlight LED 13W	78	61	10,79 €	155,40 €	>10	0,00 €	0
	Vestuarios	Pantalla LED 25W	200	655	108,02 €	384,00 €	3,56	384,00 €	1.546
	Comedor	Pantalla LED 25W	400	328	96,12 €	768,00 €	7,99	0,00 €	0
	Taller Mantenimiento	Pantalla LED 25W	175	91	15,00 €	336,00 €	>10	0,00 €	0
	Sala CGBT	Pantalla LED 25W	125	293	85,82 €	240,00 €	2,80	240,00 €	1.229
	Sala Trafos	Pantalla LED 25W	75	655	192,23 €	144,00 €	0,75	144,00 €	2.752
TOTAL			150	5	0,90 €	288,00 €	>10	0,00 €	0
					6.391,42 €	14.949,40 €	2,09	13.058,40 €	89.525



Cuadro 6-28.- Campana LED 150W y pantalla LED 25W. (Fuente: [88])

Tabla 6-50.- Propuesta de cambio a tecnología LED en la iluminación exterior. (Fuente: Elaboración propia)

ZONA	UBICACIÓN	Tipo de luminaria de sustitución	P (W) Instala	Nuevo consumo (kWh)	Ahorro (€/año)	Inversión necesaria	Amortización	INVERSIÓN RECOMENDADA	Ahorro kWh con cambio recomendado
EXTERIOR	Postes	Luminaria Vial LED 80W	1040	4.472	722,42 €	3.250,00 €	4,50	3.250,00 €	10.342
	Fachada	Luminaria Vial LED 80W	320	1.376	222,28 €	1.000,00 €	4,50	1.000,00 €	3.182
	Fachada	Proyector LED 80W	560	2.408	388,99 €	1.750,00 €	4,50	1.750,00 €	5.569
TOTAL					1.333,69 €	6.000,00 €	4,50	6.000,00 €	19.092



Cuadro 6-29.- Proyector y luminaria vial LED de 80W. (Fuente: [88])

Para todos aquellos cambios que supusieran una amortización mayor de 5 años, se ha recomendado que no se sustituyan. Siendo la amortización total de la instalación 2,51 años.

En la iluminación interior se pueden llegar a ahorrar 89.525 kWh y en la iluminación exterior 19.092 kWh. Estos datos son bastante significativos e interesantes, ya que el ahorro de energía consumida general sería de **108.617 kWh** al año y se disminuirían las emisiones de CO₂ en **32.585,20 kg CO₂/año**.

En cuanto al ahorro económico sería de unos **7.587,58 euros** al año.

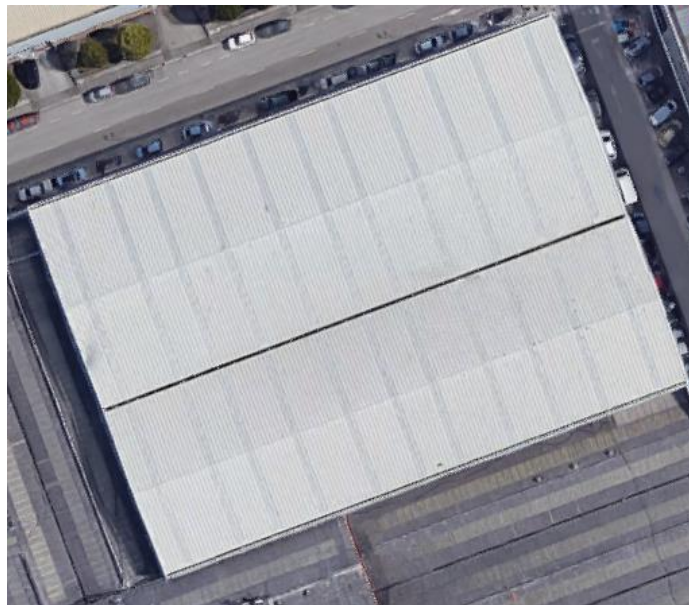
Tabla 6-51.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO2/año)
<i>Sustitución de equipos de iluminación actuales por tecnología LED</i>	19.058,40 €	7.587,58 €	2,51	108.617	32.585,20

6.11. INSTALACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE.

Debido al alto coste de la energía eléctrica y al compromiso con el medioambiente por parte de la empresa, se propone la instalación de energía renovable.

Una buena manera de ahorrar energía eléctrica durante las horas de luz solar sería con la instalación de paneles fotovoltaicos en la cubierta de la nave de “Fundición, S.A.” debido a que es una gran superficie en la cual los rayos de sol pueden incidir para crear energía. Estos paneles fotovoltaicos servirían a la empresa para poder auto consumir la energía generada.



Cuadro 6-30.- Cubierta de la nave de “Fundición, S.A.”. (Fuente: [89])

Teniendo en cuenta la superficie de la cubierta de la nave de la empresa, se considera que el número óptimo de paneles, debido a la potencia demandada por la empresa, que se deberían colocar serían 245. Dichos paneles son placas solares de cristal policristalino de 1,70 m x 1 m con 265 Wp de potencia pico.



Cuadro 6-31.- Placa solar de cristal policristalino. (Fuente: [90])

Por lo tanto, se tendrían instalados aproximadamente 64,9 kWp de potencia pico.

Por otro lado, es fundamental conocer las horas teóricas de producción anuales equivalentes y los kWh teóricos anuales de la instalación debido a que dependen de la latitud en la que se encuentren los paneles, la irradiación solar sobre el plano horizontal, la corrección atmosférica, la inclinación con la que vamos a realizar el montaje, la orientación de los paneles y su rendimiento:

- “Fundición, S.A.” se encuentra en Santander (Cantabria), por lo tanto, la latitud es de 43º.
- El valor de la corrección atmosférica será 1, debido a que se utilizan valores de 0,95 si nos encontramos en un ambiente con elevada contaminación y 1,05 en ambientes limpios (zonas de montaña o alejadas de urbes), en este caso sería un término medio.
- La irradiación solar sobre el plano horizontal (H (kWh/m²)) en la ubicación de “Fundición, S.A” se muestra en la siguiente imagen, esta depende de cada mes:

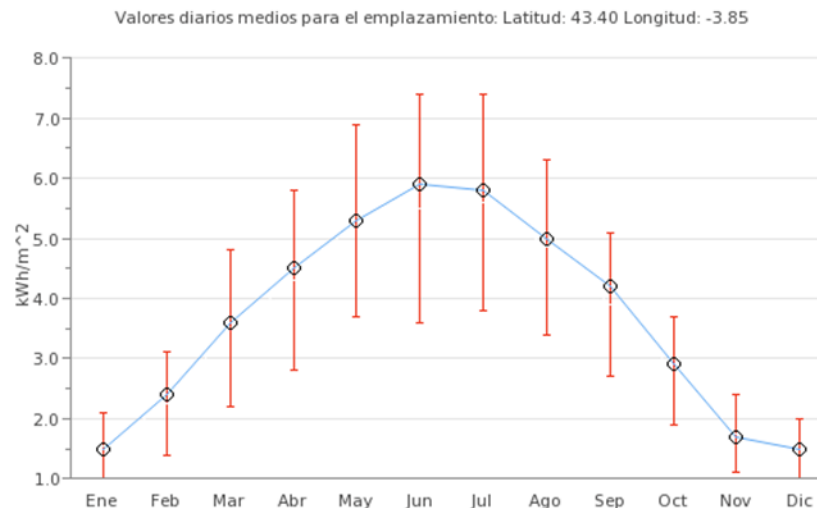


Gráfico 6-30.- Irradiación solar global sobre el plano horizontal en la zona de la planta. (Fuente: [91])

Tabla 6-52.- Valores de la irradiación solar global sobre el plano horizontal en la zona de la planta. (Fuente: [91])

(kWh/m ²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Percentil 75	2.1	3.1	4.8	5.8	6.9	7.4	7.4	6.3	5.1	3.7	2.4	2.0
Valor medio	1.5	2.4	3.6	4.5	5.3	5.9	5.8	5.0	4.2	2.9	1.7	1.5
Percentil 25	1.0	1.4	2.2	2.8	3.7	3.6	3.8	3.4	2.7	1.9	1.1	1.0

- Obtenemos el factor K cuyo valor es diferente para cada mes y depende de la latitud (43°) y la inclinación del panel. Nos interesa tener un factor K lo mayor posible, por lo tanto, para este caso la mejor inclinación de los paneles sería 35°.

Tabla 6-53.- Valores del factor k para una latitud de 43°. (Fuente: [92])

LATITUD = 43°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,08	1,07	1,05	1,03	1,02	1,02	1,02	1,04	1,06	1,08	1,1	1,09
10	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,03	1,04	1,07	1,11	1,16	1,19	1,18
15	1,22	1,18	1,13	1,08	1,05	1,03	1,05	1,09	1,15	1,23	1,27	1,26
20	1,28	1,22	1,16	1,09	1,05	1,03	1,05	1,1	1,19	1,29	1,35	1,33
25	1,33	1,26	1,18	1,1	1,04	1,02	1,04	1,11	1,22	1,34	1,42	1,4
30	1,37	1,29	1,2	1,1	1,03	1	1,03	1,11	1,24	1,38	1,48	1,45
35	1,41	1,31	1,2	1,09	1,01	0,98	1,01	1,1	1,25	1,42	1,52	1,5
40	1,43	1,33	1,2	1,07	0,98	0,95	0,98	1,09	1,25	1,44	1,56	1,54
45	1,45	1,33	1,19	1,05	0,95	0,91	0,95	1,06	1,24	1,45	1,59	1,57
50	1,46	1,33	1,17	1,02	0,91	0,87	0,91	1,03	1,23	1,46	1,61	1,58
55	1,46	1,32	1,15	0,98	0,86	0,82	0,86	1	1,21	1,45	1,62	1,59
60	1,45	1,3	1,12	0,94	0,81	0,76	0,81	0,95	1,17	1,44	1,62	1,59
65	1,43	1,27	1,08	0,89	0,75	0,7	0,75	0,9	1,13	1,41	1,61	1,58
70	1,41	1,23	1,03	0,83	0,69	0,64	0,69	0,84	1,09	1,38	1,58	1,56
75	1,37	1,19	0,98	0,77	0,62	0,57	0,62	0,78	1,03	1,34	1,55	1,53
80	1,33	1,14	0,92	0,7	0,55	0,49	0,55	0,71	0,97	1,28	1,51	1,49
85	1,28	1,08	0,85	0,63	0,47	0,42	0,47	0,64	0,9	1,22	1,45	1,44
90	1,22	1,02	0,78	0,56	0,4	0,34	0,39	0,56	0,83	1,16	1,39	1,38

- La orientación de la cubierta es sur, con la siguiente imagen calculamos el porcentaje de irradiación anual recibida según la orientación y la inclinación de los paneles (35°). Como muestra la imagen sería del 100%.

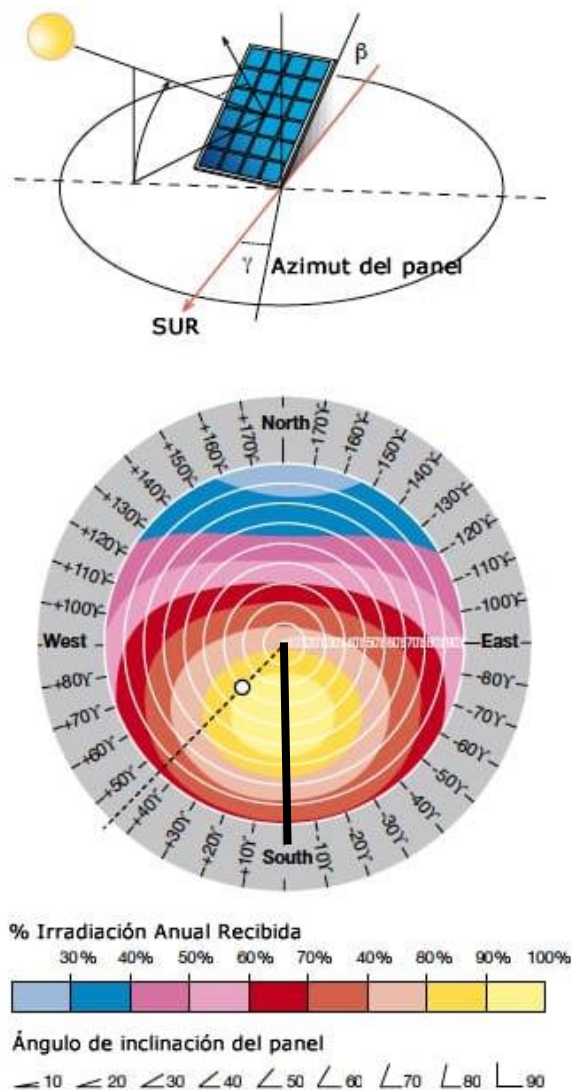


Gráfico 6-31.- % de irradiación anual recibida según la orientación e inclinación de los paneles. (Fuente: [93])

- El rendimiento de los paneles según el fabricante de los mismos es del 85% (0,85).

Obtenemos las horas teóricas de producción de cada mes (H_m) de la siguiente manera:

$$H_m = (\text{Días de cada mes}) \times H \times K \times (\text{corrección atmosférica})$$

Además, se calculan los kWh anuales de producción equivalente:

$$\text{kWh producidos} = (H_m \times \text{Orientación} \times \text{Rendimiento} \times \text{Número de paneles} \times \text{Potencia pico}) / 1000$$

En la siguiente tabla se recogen los datos explicados hasta este momento:

Tabla 6-54.- Datos según la situación de la futura instalación de paneles fotovoltaicos. (Fuente: Elaboración propia)

Días	Mes	H (kWh/m2)	Corrección atm	K (LAT=43/35º)	Hm (35º)	kWh
31	Enero	1,5	1	1,41	65,57	3.618,29
28	Febrero	2,4	1	1,31	88,03	4.858,16
31	Marzo	3,6	1	1,2	133,92	7.390,54
30	Abril	4,5	1	1,09	147,15	8.120,66
31	Mayo	5,3	1	1,01	165,94	9.157,77
30	Junio	5,9	1	0,98	173,46	9.572,61
31	Julio	5,8	1	1,01	181,60	10.021,71
31	Agosto	5	1	1,1	170,50	9.409,26
30	Septiembre	4,2	1	1,25	157,50	8.691,83
31	Octubre	2,9	1	1,42	127,66	7.044,97
30	Noviembre	1,7	1	1,52	77,52	4.278,04
31	Diciembre	1,5	1	1,5	69,75	3.849,24
	Anual	44,3			1.558,60	86.013,07

También se resumen en la siguiente tabla los datos técnicos de la instalación:

Tabla 6-55.- Datos técnicos de la instalación. (Fuente: Elaboración propia)

DATOS TÉCNICOS DE LA INSTALACIÓN				
1		Potencia pico:	64,9	kWp
2		Horas teóricas de producción anuales equivalentes:	1.558,60	h/año
3		kWh teóricos anuales que producirá la instalación:	86.013,07	kWh
4		% de Energía producida anual que se consumirá:	100%	
5		kWh anuales que se consumirán:	86.013,29	kWh
6	% de Energía producida anualmente que se regulará o evacuará a la red:		0,00%	%
7		kWh anuales que se regularán o evacuarán a la red:	0	kWh

A continuación, se calcula el precio medio de la energía para la instalación, sacando a partir de esto la siguiente tabla con los datos del ahorro económico aportado:

Tabla 6-56.- Datos del ahorro económico por la futura instalación. (Fuente: Elaboración propia)

DATOS DEL AHORRO ECONÓMICO APORTADO		
8	Coste del kWh en hora de irradiación solar:	0,08200 €/kWh
9	Coste del impuesto eléctrico aplicado sobre el kWh:	0,00003 €/kWh
10	Coste total del kWh ahorrado por la instalación (8+9):	0,08204 €/kWh
11	Total ahorro en consumo de energía el primer año (5 x 10):	7.056,33 €/año
12	Ahorro anual en la reducción de la potencia contratada y/o de excesos de potencia:	1.322,14 €/año
13	Coste del Impuesto eléctrico (1,05113 x 4,864 %) aplicado:	68,15 €/año
14	Importe total de ahorros extra + impuestos (12+13):	1.390,29 €/año
15	AHORRO TOTAL APORTADO EL PRIMER AÑO (11+14):	8.446,62 € €/año

Se realiza una tabla con los datos económicos de la instalación aproximados:

Tabla 6-57.- Datos económicos de la instalación. (Fuente: Elaboración propia)

DATOS ECONÓMICOS DE LA INSTALACIÓN		
16	Coste de las placas fotovoltaicas:	30550 €
17	Coste del inversor:	4000 €
18	Coste de la línea interconexión e infraestructura eléctrica:	2500 €
19	Coste de la estructura soporte:	3000 €
20	Coste del cableado, protecciones eléctricas y red de distribución:	1500 €
21	Coste de ingeniería y estudios previos:	1400 €
22	Coste de dirección de obra:	1300 €
23	Coste seguridad y salud:	400
24	Coste total de la compra de la instalación:	44650 €
25	Coste estimado de obtención de Licencia de obras (2% sobre coste ejecución material):	893 €
26	COSTE TOTAL DE LA INSTALACIÓN (24+25):	45543 €
27	Coste estimado del seguro de la instalación:	50 €/año
28	Aumento estimado anual del coste de la electricidad:	2,5%
29	Aumento estimado del IPC % anual:	2%

Además, se debe realizar un cuadro de rentabilidad económica de la futura instalación:

Tabla 6-58.- Cuadro de rentabilidad económica. (Fuente: Elaboración propia)

Año	Coste de compra la electricidad y energía producida				Ahorros generados	Gastos		Resumen	
	Coste Compra Electricidad (€/kWh)	Rendimiento de los paneles (Disminución del 0,7% anual)	Producción neta Total (kWh)	Producción Consumida Total (kWh)	Ahorro por los kWh Autoconsumo (€/año)	Seguro (€/año)	Mantenimiento (€/año)	Flujo de Caja (€/año)	Flujo de Caja Acumulada (€)
0	-	-	-	-	-	-	-	-45.543 €	-45.543 €
1	0,08204	100,00%	86.013,07	86.013,29	8.447 €	-50 €	0 €	8.397 €	-37.146 €
2	0,08409	99,30%	85.410,98	85.411,20	8.572 €	-51 €	0 €	8.521 €	-28.625 €
3	0,08619	98,60%	84.813,10	84.813,32	8.700 €	-52 €	0 €	8.648 €	-19.977 €
4	0,08835	97,91%	84.219,41	84.219,62	8.831 €	-53 €	-500 €	8.278 €	-11.699 €
5	0,09055	97,23%	83.629,87	83.630,09	8.963 €	-54 €	-510 €	8.399 €	-3.299 €
6	0,09282	96,55%	83.044,46	83.044,68	9.098 €	-55 €	-520 €	8.523 €	5.224 €
7	0,09514	95,87%	82.463,15	82.463,36	9.236 €	-56 €	-531 €	8.649 €	13.873 €
8	0,09752	95,20%	81.885,91	81.886,12	9.376 €	-57 €	-541 €	8.778 €	22.650 €
9	0,09995	94,54%	81.312,71	81.312,92	9.518 €	-59 €	-552 €	8.907 €	31.557 €
10	0,10245	93,87%	80.743,52	80.743,73	9.663 €	-60 €	-563 €	9.040 €	40.597 €
11	0,10502	93,22%	80.178,32	80.178,52	9.810 €	-61 €	-574 €	9.175 €	49.772 €
12	0,10764	92,56%	79.617,07	79.617,27	9.960 €	-62 €	-584 €	9.314 €	59.086 €
13	0,11033	91,92%	79.059,75	79.059,95	10.113 €	-63 €	-598 €	9.452 €	68.539 €
14	0,11309	91,27%	78.506,33	78.506,53	10.269 €	-65 €	-609 €	9.595 €	78.133 €
15	0,11592	90,63%	77.956,79	77.956,99	10.427 €	-66 €	-622 €	9.739 €	87.872 €
16	0,11882	90,00%	77.411,09	77.411,29	10.588 €	-67 €	-634 €	9.887 €	97.759 €
17	0,12179	89,37%	76.869,21	76.869,41	10.752 €	-69 €	-647 €	10.036 €	107.795 €
18	0,12483	88,74%	76.331,13	76.331,32	10.919 €	-70 €	-660 €	10.189 €	117.984 €
19	0,12795	88,12%	75.796,81	75.797,00	11.089 €	-71 €	-673 €	10.345 €	128.328 €
20	0,13115	87,51%	75.266,23	75.266,42	11.261 €	-73 €	-686 €	10.502 €	138.831 €
21	0,13443	86,89%	74.739,37	74.739,56	11.437 €	-74 €	-700 €	10.663 €	149.494 €
22	0,13779	86,28%	74.216,19	74.216,38	11.616 €	-76 €	-714 €	10.826 €	160.320 €
23	0,14123	85,68%	73.696,68	73.696,87	11.799 €	-77 €	-728 €	10.994 €	171.314 €
24	0,14476	85,08%	73.180,80	73.180,99	11.984 €	-79 €	-743 €	11.162 €	182.477 €
25	0,14838	84,49%	72.668,54	72.668,72	12.173 €	-80 €	-758 €	11.335 €	193.812 €

Se resume a continuación la supuesta inversión:

Tabla 6-59.- Resultado de la inversión. (Fuente: Elaboración propia)

Resultado de la inversión	
Coste de compra de la instalación:	45.543 €
Ahorro económico aportado el primer año:	8.397 €
Ahorro económico aportado en el año 25:	11.335 €
Total ahorro económico aportado durante 25 años:	239.355 €
Total ahorro en el año 25 (descontando la inversión):	193.812 €
TIR de la inversión a 25 años:	18,94%
Periodo de retorno de la inversión (años):	5,39

Tabla 6-60.- Resumen de la propuesta de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO ₂ /año)
Instalación de placas solares fotovoltaicas para autoconsumo	45.543,00 €	8.446,62 €	5,4	86.013	30.105

A través de una inversión económica de 45.543 euros aproximadamente, se podrían llegar a ahorrar **8.446,62 euros/año**. Es decir, esta futura propuesta estaría amortizada en 5,4 años. Además, se conseguiría un ahorro de emisiones de **30.105 kg CO₂/año** y un ahorro energético de **86.013 kWh/año**.

6.12. RESUMEN DE PROPUESTAS Y LÍNEAS FUTURAS.

Después de analizar las instalaciones, maquinaria y consumos de la planta se han propuesto medidas de mejora a lo largo del documento con el fin de reducir los consumos energéticos y económicos. Todo esto conlleva además una gran responsabilidad medioambiental.

En la siguiente tabla, se han resumido todas las propuestas de medidas de mejora recomendadas al realizar esta auditoría energética para “Fundición, S.A.”:

Tabla 6-61.- Resumen de las propuestas de mejora. (Fuente: Elaboración propia)

Medida	Inversión (€)	Ahorro económico (€/año)	Amortización (años)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro emisiones (kg CO ₂ /año)
Optimización de la factura eléctrica					
<i>Optimización de potencia de la instalación</i>	266,96 €	3.009,97 €	0,09	-	-
<i>Eliminación de energía reactiva por reajuste en la batería de condensadores</i>	-	608,89 €	-	-	-
Funcionamiento eficiente de los hornos de fusión					
<i>Ajuste del funcionamiento en periodo 6 de los hornos de fusión</i>	-	31.507,95 €	-	-	-
Refrigeración eficiente de los hornos de fusión					
<i>Control de bombeos de los hornos y torre de refrigeración por temperatura</i>	1.600,00 €	17.485,31 €	0,10	213.137,50	63.941,25
<i>Instalación de un variador de frecuencia para el control de las bombas de la torre de refrigeración, adaptando caudales a la demanda</i>	4.700,00 €	3.242,54 €	1,45	39.525,00	11.857,50
Optimización del consumo del aire comprimido					
<i>Ajuste de la banda de presiones</i>	-	1.042,63 €	-	12.709,14	3.812,74
<i>Apagar los compresores por la noche</i>	-	7.141,19 €	-	87.047,72	26.114,32
<i>Reducir las principales fugas (fugas claramente identificadas) y reducción de consumos superfluos</i>	250,00 €	7.216,87 €	0,03	87.970,20	26.391,06
Iluminación más eficiente					
<i>Sustitución de equipos de iluminación actuales por tecnología LED</i>	19.058,40 €	7.587,58 €	2,51	108.617,32	32.585,20
Instalación de energía renovable					
<i>Instalación de placas solares fotovoltaicas para autoconsumo</i>	45.543,00 €	8.446,62 €	5,39	86.013,29	30.104,65
TOTAL:	71.418,36 €	87.289,55 €		635.020,17	194.806,72

En la tabla resumen se pueden observar las 6 partes en las cuales se propone actuar: Optimización de la factura eléctrica, funcionamiento eficiente de los hornos de fusión, refrigeración eficiente de los hornos de fusión, optimización del consumo del aire comprimido, iluminación más eficiente e instalación de energía renovable.

Si la empresa realiza todas las medidas de mejora, a través de una **inversión** aproximada de **71.418,36 €**, puede llegar a **ahorrar energéticamente** aproximadamente **635.020,17 kWh/año** lo que supone un **ahorro económico de 87.289,55€**. Además, medioambientalmente hablando se ahorrarían un total de **194.806,72 kg CO₂/año**.

Las propuestas de mejora que más ahorro suponen son el funcionamiento eficiente de los hornos de fusión (ajuste del funcionamiento en el periodo 6 de los hornos de fusión) y la refrigeración eficiente de los hornos de fusión (control de los bombeos de los hornos y torre de refrigeración por temperatura, y la instalación de un variador de frecuencia para el control de las bombas de la torre de refrigeración). Esto se debe a que los hornos

de fusión reflejaban el mayor consumo de la planta y, por lo tanto, estas dos actuaciones tienen una importancia vital para el ahorro energético de la empresa. Es decir, se aconseja que sean de las primeras en realizarse. Adicionalmente, todas aquellas propuestas que no supongan ninguna inversión deberían llevarse a cabo inmediatamente para lograr que la empresa sea más eficiente.

Por otro lado, estas propuestas de medidas de mejoras han sido analizadas y estudiadas independientemente unas de las otras, por lo tanto, es posible que si alguna de ellas es llevada a cabo pueda influir en el resto de propuestas:

- La instalación de energía renovable a través de la colocación de placas solares fotovoltaicas reducirá la potencia demandada durante las horas de producción, favoreciendo de esta forma el autoconsumo.
- La sustitución de los equipos de iluminación actuales por tecnología LED hace posible que la iluminación sea más eficiente. La potencia instalada en iluminación y la energía reactiva consumida disminuye.
- En cuanto a la refrigeración de los hornos, la instalación de un variador de frecuencia reduciría el consumo de energía reactiva y la potencia demandada, y el control de los bombeos también disminuirá la potencia demandada por los equipos encargados de la refrigeración de los hornos.
- La optimización del consumo de aire comprimido, hará que estos equipos sean más eficientes, reduciendo también la potencia demandada por estos.

Es posible que al realizar la instalación de placas solares fotovoltaicas y/o cambiar la iluminación a LED, entre otros, haga descender la potencia óptima y el consumo de energía reactiva. Es decir, sería conveniente que, una vez realizada una propuesta de mejora, se analizase su influencia en el resto de la planta, incidiendo en una posible optimización de la factura eléctrica.

También en un futuro se aconseja intentar ajustar aún más la banda de presiones del aire comprimido, incluir más instalación de energías renovables a la planta y la renovación de las luminarias existentes que no se han propuesto para su cambio a LED.

7. CONCLUSIONES.

En este estudio de una auditoría energética de una empresa industrial se ha podido observar la importancia y repercusión positiva de la realización de estos estudios energéticos en una empresa industrial. El RD 50/2016 obliga a la realización de auditorías energéticas en grandes empresas. Sin embargo, puede ser una herramienta muy útil para pequeñas y medianas empresas que les permita aumentar su competitividad. Con el objetivo de demostrar este hecho se ha realizado el presente trabajo fin de grado, en el cual se ha explicado el procedimiento llevado a cabo para la realización de una auditoría energética a la empresa “Fundiciones, S.A.”. Este caso práctico ha demostrado gratamente la relevancia de la realización de una auditoría energética en cualquier tipo de empresa industrial, ya que se consiguen grandes ahorros energéticos y económicos, manteniendo el compromiso medioambiental. Adicionalmente, la empresa consigue saber en qué zonas debe actuar y/o actualizar sus instalaciones principalmente a través de sus consumos.

En el presente trabajo se han explicado todas las etapas llevadas a cabo en la realización de una auditoría energética en un caso real. Entre las actividades realizadas se incluyen planificación de la auditoría, toma de datos y análisis de los mismos, búsqueda y propuesta de mejoras así como valoración de las mismas desde un punto de vista energético, económico y medioambiental. Por lo tanto, este trabajo fin de grado muestra no solo las etapas de la metodología a seguir en la realización de una auditoría energética en una empresa, sino también los resultados obtenidos de la aplicación de dicha metodología a un caso real.

La realización de una auditoría energética en la empresa “Fundición, S.A.” ha dado como resultado la propuesta de las siguientes medidas de mejora:

- Optimización de potencia de la instalación.
- Eliminación de energía reactiva por reajuste en la batería de condensadores.
- Ajuste del funcionamiento de los hornos en periodo 6.
- Control de bombeos de los hornos y torre de refrigeración por temperatura.
- Instalación de un variador de frecuencia para el control de las bombas de la torre de refrigeración, adaptando caudales a la demanda.
- Ajuste de la banda de presiones del aire comprimido.
- Apagar los compresores por la noche.
- Reducir las principales fugas (fugas claramente identificadas) y reducción de consumos superfluos de aire comprimido.
- Sustitución de equipos de iluminación actuales por tecnología LED.
- Instalación de placas solares fotovoltaicas para autoconsumo.

Si se realizasen todas estas propuestas de medidas de mejora, que supondrían una inversión de 71.418,36 €, se lograría ahorrar energéticamente 635.020, 17 kWh/año. Llegar a ahorrar esta energía significaría reducir un 8,08% la energía consumida por “Fundición, S.A.”. Este porcentaje es muy relevante puesto que se trata de una empresa de fundición con grandes consumos energéticos en los hornos que no pueden reducirse en la actualidad. Adicionalmente supondría para la empresa un ahorro de 87.289,55€ y la reducción de las emisiones de CO₂ en 194.806,72 kg CO₂/año.

En este trabajo fin de grado se ha podido contemplar la importancia que tienen las auditorías energéticas en las empresas industriales y el papel fundamental de la eficiencia energética para conseguir un mayor ahorro tanto energético como económico, así como la reducción de emisiones contaminantes. Es decir, con unas inversiones amortizables en un periodo corto de tiempo se consiguen grandes ventajas para la empresa y para la sociedad. Debido a esto, muchas empresas industriales deberían animarse a realizar auditorías energéticas.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. *Energía* [en línea]. 2018 [consulta: 29 septiembre 2018]. Disponible en: <http://dle.rae.es/srv/fetch?id=FGD8otZ>
- [2] REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. *Auditoría* [en línea]. 2018 [consulta: 29 septiembre 2018]. Disponible en: <https://dej.rae.es/lema/auditor%C3%ADa>
- [3] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (AENOR). *Auditorías energéticas. Parte 1: Requisitos generales*. UNE-EN 16247-1. Madrid: AENOR, 2014.
- [4] BP ESPAÑA. *BP Statistical review* [en línea]. 2018 [consulta: 19 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.bp.com/es_es/spain/conozca-bp/informes-y-publicaciones/bp-statistical-review.html
- [5] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE). *El sistema eléctrico español 2017* [en línea]. 2017 [consulta: 03 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElctrico/2017/inf_sis_elec_ree_2017.pdf
- [6] CERTICALIA. *¿Qué es la auditoría energética industrial?* [en línea]. 2018 [consulta: 26 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.certicalia.com/auditoria-energetica-industrial/que-es-la-auditoria-energetica-industrial>
- [7] AURA ENERGÍA. *El consumo eléctrico y la industria* [en línea]. 2018 [consulta: 24 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.aura-energia.com/expectativas-tarifas-luz-industria/>
- [8] España. Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero. *Boletín Oficial del Estado*, 13 de febrero de 2016, núm. 38, p. 11655. [consulta: 20 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2016-1460>
- [9] Biblioteca Universidad de Cantabria. *Buscador UNICO* [en línea]. 2019 [consulta: 12 marzo 2019]. Disponible en: <https://web.unican.es/buc>
- [10] SOLINGESA CONSULTORÍA EN INNOVACIÓN, RESPONSABILIDAD SOCIAL, INGENIERÍA. *Realización de auditorías energéticas conforme R.D. 56/2016 según UNE EN 16247* [en línea]. 2019 [consulta: 10 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.solingesa.com/soluciones/ingenieria-ambiental/eficiencia-energetica/metodologia-para-la-realizacion-de-auditorias-energeticas-segun-une-en-16247.html>
- [11] MOROTE, José Luis. *Auditorías energéticas. Fases y desarrollo* [en línea]. OVACEN. 2017 [consulta: 10 marzo 2019]. Disponible en: <https://ovacen.com/auditorias-energeticas-fases-y-desarrollo/>
- [12] EFENERGIA. *Auditorías energéticas, conceptos básicos* [en línea]. 2018 [consulta: 01 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.efenergia.com/auditorias-eficiencia-energetica/>
- [13] BUDIA, Ernesto. *Modelo de auditoría energética en el sector industrial*. Proyecto fin de carrera. Universidad Carlos III de Madrid. 2009 [consulta: 20 noviembre 2018]. Disponible en: <https://e->

archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/8175/PFC_Ernesto_Budia_Sanchez.pdf?sequence=1

[14] SERRANO, Paula. Medir con equipos y aparatos para la auditoría energética de edificio [en línea]. *Certificados energéticos*. 2016 [consulta: 11 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.certificadosenergeticos.com/medir-equipos-aparatos-auditorias-energetica-edificios>

[15] LEN ELECTRIC INGENIERÍA S.A.S. *Análisis de redes eléctricas* [en línea]. 2019 [consulta: 02 mayo 2019]. Disponible en: <http://www.lenelectric.com/analizadores-de-redes-electricas/>

[16] RS COMPONENTS. *RS Components*. 2019 [consulta: 06 marzo 2019]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/>

[17] PROMAX. *Cámara termográfica: Cómo funcionan y por qué pueden ser necesarias* [en línea]. 2018 [consulta: 07 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.promax.es/esp/noticias/400/camara-termografica-como-funcionan-y-por-que-pueden-ser-necesarias>

[18] CIRCUTOR. *Tecnología para la eficiencia energética - CIRCUTOR*. 2019 [consulta: 10 marzo 2019]. Disponible en: <http://circutor.es/es>

[19] ONSET. *Onset HOBO and Intemp Data Loggers*. 2019 [consulta: 09 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.onsetcomp.com/>

[20] FLIR SYSTEMS. *FLIR Systems | Sistemas de cámaras termográficas, de visión nocturnas o infrarrojas*. 2019 [consulta: 06 marzo 2019]. Disponible en: <https://prod.flir.es/>

[21] RICO, Óscar. (2019). Gestión de huella de carbono en Germaine de Capuccini [en línea]. *Asociación Española para la Calidad (AEC)*. 2012 [consulta: 08 mayo 2019]. Disponible en: https://www.aec.es/c/document_library/get_file?p_l_id=315713&folderId=880358&name=DLFE-10611.pdf

[22] PRECIOGAS. *Tipos de tarifas eléctricas* [en línea]. 2018 [consulta: 25 noviembre 2018]. Disponible en: <https://preciogas.com/faq/factura-luz/tarifa-electrica>

[23] TARIFASGASLUZ. *Pasarse al mercado libre de luz* [en línea]. 2018 [consulta: 26 noviembre 2018]. Disponible en: <https://tarifasgasluz.com/faq/pasarse-mercado-libre-luz>

[24] TARIFASGASLUZ. *Discriminación horaria: ¿a qué hora es más cara la luz?* [en línea]. 2018 [consulta: 07 noviembre 2018]. Disponible en: <https://tarifasgasluz.com/faq/tarifas/discriminacion-horaria>

[25] GESTERNOVA ENERGÍA. *Tarifas para empresas* [en línea]. 2018 [consulta: 04 noviembre 2018]. Disponible en: <https://gesternova.com/>

[26] COLÓN, Javier. Todo sobre las tarifas de alta tensión de 6 periodos (6.X). *Gesternova Energía* [en línea]. 2016 [consulta: 05 noviembre 2018]. Disponible en: <https://gesternova.com/todo-sobre-las-tarifas-de-alta-tension-de-6-periodos-6-x/>

- [27] PODO. *Diferencia entre comercializadora y distribuidora eléctrica* [en línea]. 2019 [consulta: 08 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.mipodo.com/blog/ahorro-electricidad/diferencia-entre-comercializadora-y-distribuidora-electrica-nacional/>
- [28] ALCANZIA. *Incidencias en el suministro* [en línea]. 2018 [consulta: 02 diciembre 2018]. Disponible en: <https://alcanzia.es/atencion-al-cliente/incidencias-en-el-suministro/>
- [29] FENÍE ENERGÍA. *¿Cuáles son las diferencias entre una comercializadora y una distribuidora?* [en línea]. 2019 [consulta: 09 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.fenieenergia.es/sabias-que/cuales-son-las-diferencias-entre-una-comercializadora-y-una-distribuidora/>
- [30] España. Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre. *Boletín Oficial del Estado*, 8 de noviembre de 2001, núm. 268, p. 40618. [consulta: 29 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2001-20850>
- [31] BENÍTEZ, Laura. Duelos eléctricos (I): Precio fijo vs precio indexado [en línea]. *Blog de Holaluz*, 2014 [consulta: 28 octubre 2018]. Disponible en: <https://blog.holaluz.com/duelos-electricos-i-precio-fijo-vs-precio-indexado/>
- [32] E.SIOS SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL OPERADOR DEL SISTEMA. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE). *Mercados y precios*. 2018 [consulta: 03 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.esios.ree.es/es>
- [33] OPERADOR DEL MERCADO IBÉRICO DE ENERGÍA (OMIE). *Nuestros mercados de electricidad* [en línea]. 2018 [consulta: 21 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.omel.es/inicio/mercados-y-productos/mercado-electricidad/nuestros-mercados-de-electricidad>
- [34] España. Ley 28/2014, de 27 de noviembre. *Boletín Oficial del Estado*, 28 de noviembre de 2014, núm. 288, p. 97098. [consulta: 29 octubre 2018]. Disponible en: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-12329
- [35] España. Orden ITC/3519/2009, de 28 de diciembre. *Boletín Oficial del Estado*, 31 de diciembre de 2009, núm. 315, p. 112136. [consulta: 29 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-21173>
- [36] SOMENERGIA. *Energía reactiva: qué es, efectos en la factura y cómo eliminarla* [en línea]. 2018 [consulta: 14 diciembre 2018]. Disponible en: <https://es.support.somenergia.coop/article/180-como-puedo-reducir-el-consumo-de-energia-reactiva-con-la-tarifa-3-0a>
- [37] METAS & METRÓLOGOS ASOCIADOS. ¿Qué es el factor de potencia? [en línea]. *La Guía MetAs*. 2010 [consulta: 08 noviembre 2018]. Disponible en: http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-10-02-factor_de_potencia.pdf
- [38] España. ITC/688/2011, de 30 de marzo. *Boletín Oficial del Estado*, 31 de marzo de 2011, núm. 77 [consulta: 01 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-5757>
- [39] SERNÁNDEZ, Cristina. Energía reactiva en la factura de la luz de tu empresa: cómo combatirla y cómo calcularla [en línea]. *Gesternova energía*, 2014 [consulta: 14

diciembre 2018]. Disponible en: <https://gesternova.com/energia-reactiva-en-la-factura-de-la-luz-de-tu-empresa-algunos-consejos-y-como-calcularla/>

[40] GUTIÉRREZ, María D. et al. Tema 8: Mejora del factor de potencia. Apuntes de la asignatura Teoría de Circuitos de la Universidad del País Vasco. *OpenCourseWare Universidad del País Vasco*. 2010 [consulta: 06 mayo 2019]. Disponible en: https://ocw.ehu.eus/file.php/85/MATERIALES_DE_ESTUDIO/tema-8-mejora-del-factor-de-potencia.pdf

[41] Horno de inducción [en línea]. *Wikipedia: la enciclopedia libre*. 2018 [consulta: 30 diciembre 2018]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Horno_de_inducci%C3%B3n

[42] ACRO PERDA. *Hornos Fundición* [en línea]. 2019 [consulta: 17 enero 2019]. Disponible en: <https://www.acroperda.com/Hornos/Hornos-Fundicion.html>

[43] Regresión lineal [en línea]. *Wikipedia: la enciclopedia libre*. 2019 [consulta: 14 febrero-2019]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Regresi%C3%B3n_lineal

[44] CARDENAS, Julián. Qué es la regresión lineal múltiple y cómo analizarla en 4 pasos [en línea]. *Networkianos. Blog de Sociología*, 2014 [consulta: 14 febrero 2019]. Disponible en: <http://networkianos.com/regresion-lineal-multiple/>

[45] DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS. *Transformadores Eléctricos* [en línea]. 2013 [consulta: 03 mayo 2019]. Disponible en: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/transformadores-electricos>

[46] PLATAFORMA E-DUCATIVA ARAGONESA. *El transformador trifásico y su conexión* [en línea]. 2019 [consulta: 23 abril 2019]. http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3015/html/14_el_transformador_trifsico_y_su_conexionado.html

[47] FORNIELES, Francesc. Qué es un batería de condensadores [en línea]. *Blog Francesc Fornieles*, 2017 [consulta: 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://fornieles.es/energia-reactiva/que-es-un-bateria-de-condensadores/>

[48] CDECOMUNICACIÓN.ES. *Baterías de condensadores, una óptima solución para pymes, industria y terciario* [en línea]. 2018 [consulta: 15 diciembre 2018]. Disponible en: <https://material-electrico.cdecomunicacion.es/reportajes/15687/baterias-de-condensadores-una-optima-solucion-para-pymes-industria-y-terciario>

[49] BARBOSA, Braulio, et al. Transformador Eléctrico [en línea]. *Polilibro de Física IV. Instituto Politécnico Nacional*. 2019 [consulta: 06 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.academico.cecyl7.ipn.mx/FisicaIV/unidad1/transformador.htm>

[50] Ensayo de vacío [en línea]. *Wikipedia: la enciclopedia libre*. 2019 [consulta: 20 enero 2019]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Ensayo_de_vac%C3%ADo

[51] Grupo de conexión [en línea]. *Wikipedia: la enciclopedia libre*. 2019 [consulta: 09 febrero 2019]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo_de_conexi%C3%B3n

[52] GRANERO, Andrés. Calentamiento y refrigeración de transformadores [en línea]. *Blog Ingeniería de Máquinas y Sistemas Eléctricos*. 8 noviembre 2015 [consulta: 03

- febrero 2019]. Disponible en: <http://imseingenieria.blogspot.com/2015/11/calentamiento-y-refrigeracion-de.html>
- [53] PROMELSA. *Ficha técnica – Transformador seco* [en línea]. 2019 [consulta: 25 febrero 2019]. Disponible en: http://www.promelsa.com.pe/pdf/fitec_trans_seco.pdf
- [54] QUINTO ARMÓNICO MV ENERGÍA. *Desequilibrios y sus consecuencias en los Centros de Transformación* [en línea]. 2009 [consulta: 21 febrero 2019]. Disponible en: <https://quintoarmonico.es/2009/08/02/desequilibrios-y-sus-consecuencias-en-los-centros-de-transformacion/>
- [55] PIOLET, Frank. ¿Qué son los armónicos y como nos afectan? [en línea]. *SectorElectricidad*, 1 octubre 2015 [consulta: 09 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.sectorelectricidad.com/13810/armonicos-que-son-y-como-nos-afectan/>
- [56] CANABAL, Epifanio. Los armónicos: causas, consecuencias y soluciones [en línea]. *Gesternova energía*, 29 octubre 2013 [consulta: 09 febrero 2019]. Disponible en: <https://gesternova.com/los-armonicos-causas-consecuencias-y-soluciones/>
- [57] MECFI S.L. *Presencia de Armónicos* [en línea]. 2019 [consulta: 26 enero 2019]. Disponible en: <http://mecfi.es/presencia-de-armonicos>
- [58] GRUPO SIMEC. Torres de refrigeración y condensadores evaporativos (II) [en línea]. *Blog SIMEC*, 14 agosto 2018 [consulta: 04 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.blog.simec.biz/torres-de-refrigeracion-y-condensadores-evaporativos-ii/>
- [59] INTERKAL NORTE. *Instalación Torre de Refrigeración CAF* [en línea]. 2019 [consulta: 19 febrero 2019]. Disponible en: <http://interkal.es/proyectos/instalacion-torre-refrigeracion-caf/>
- [60] PUMPSFORAFRICA.CO.ZA. *PEDROLLO F65-160A* [en línea]. 2019 [consulta: 25 febrero 2019]. Disponible en: <https://pumpsforafrica.co.za/pedrollo-f65-160a.html>
- [61] MOTOR DIRECT. *Motor 15 KW (20 CV) 3000 RPM Trifásico CEMER* [en línea]. 2019 [consulta: 25 enero 2019]. Disponible en: <https://motordirect.es/motor-trifasico-3000-rpm-IE1-11-a-20-cv/32025-661-motor-trifasico-3000-rpm-20-CV-cemer.html>
- [62] GRUNDFOS. *Variador de frecuencia* [en línea]. 2019 [consulta: 15 febrero 2019]. Disponible en: https://es.grundfos.com/Servicio_mantenimiento_bombas/buscar_enciclopedia/frequency-converter.html
- [63] SOURCETRONIC Sourcingtronic. 2019 [consulta: 05 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.sourcingtronic.com/shop/es/>
- [64] Leyes de afinidad [en línea]. *Wikipedia: la enciclopedia libre*. 2019 [consulta: 07 febrero 2019]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Leyes_de_afinidad
- [65] ABB en España. *EnergySve calculator* [en línea]. 2019 [consulta: 16 febrero 2019]. Disponible en: <https://new.abb.com/drives/energy-efficiency/energysave-calculator>
- [66] RIVAS, Paulino. Ahorro de energía con variadores de frecuencia [en línea]. *Instalaciones y Eficiencia Energética.com*. 2019 [consulta: 07 marzo 2019]. Disponible en: <https://instalacionesyeficienciaenergetica.com/variador-de-frecuencia-ahorro-energia/>

- [67] MUNDOCOMPRESOR.COM. *Aire comprimido* [en línea]. 2019 [consulta: 27 enero 2019]. Disponible en: <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/aire-comprimido>
- [68] MUNDOCOMPRESOR.COM. *Diferentes tipos de compresores* [en línea]. 2019 [consulta: 02 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-compresores>
- [69] DE MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS. *Compresores a Tornillo* [en línea]. 2011 [consulta: 30 enero 2019]. Disponible en: <https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/compresores-tornillo>
- [70] MUNDOCOMPRESOR.COM. *Cómo funciona un compresor de tornillo lubricado* [en línea]. 2019 [consulta: 02 febrero 2019]. Disponible en: <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/como-funciona-compresor-tornillo-lubricado>
- [71] INSUMOS Y MÁQUINAS. *5 ventajas de un Compresor a Tornillo* [en línea]. 2016 [consulta: 02 febrero 2019]. Disponible en: <https://insumosymaquinas.com.ar/5-ventajas-de-un-compresor-a-tornillo/>
- [72] ATLAS COPCO ESPAÑA. *Compresores de tornillo con inyección de aceite de la serie GA* [en línea]. 2019 [consulta: 27 enero 2019]. Disponible en: <https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/products/Air-compressor/Oil-injected-rotary-screw-air-compressor/ga-oil-lubricated-screw-compressor-series>
- [73] ATLAS COPCO ARGENTINA. *5 maneras en las que los compresores VSD le ayudarán a ahorrar dinero* [en línea]. *Blog del Aire Comprimido*, 5 febrero 2017 [consulta: 27 enero 2019]. Disponible en: <https://elblogdelairecomprimido.com/compresores-vsd-5-formas-de-ahorrar/>
- [74] ATLAS COPCO ESPAÑA. *Depósitos de aire comprimido de alta presión HTA* [en línea]. 2019 [consulta: 28 enero 2019]. Disponible en: <https://www.atlascopco.com/es-es/compressors/products/Compressed-air-ancillaries/air-receivers/HTA-compressed-air-receivers>
- [75] ATLAS COPCO. Sistema Elektronikon®. Control y monitorización electrónicos de avanzada tecnología [en línea]. *Las ventajas de la tecnología avanzada*. 2003 [consulta: 27 enero 2019]. Disponible en: http://delta500compresores.com/pdf/Modulos_ELEKTRONIKON.pdf
- [76] GÓMEZ-ACEBO, Tomás. Tema 8 – Aplicaciones de la segunda ley [en línea]. *Apuntes de la asignatura Termodinámica de la Universidad de Navarra*. 2009 [consulta: 27 enero 2019] Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/termo/Temas/Tema08-AplicP2.pdf>
- [77] CALIDAD Y EFICIENCIA EN AIRE COMPRIMIDO. *Fugas de aire comprimido* [en línea]. 2019 [consulta: 28 enero 2019]. Disponible en: <http://ceacsa.com.mx/fugas-aire-comprimido/>
- [78] MAQUINARIAS Y EQUIPOS INDUSTRIALES. Pérdidas de caudal [en línea]. *Blogger.com*, 24 septiembre 2013 [consulta: 02 febrero 2019]. Disponible en:

<http://maquinariasyequiposindustriales.blogspot.com/2013/09/perdidas-de-caudal.html>

[79] NAVA, José A. Fugas en un sistema de aire comprimido [en línea]. *KAESER Compresores*, 26 septiembre 2016 [consulta: 01 febrero 2019]. Disponible en: <http://airecomprimidokaeser.com/index.php/2016/09/26/fugas-en-un-sistema-de-aire-comprimido/>

[80] INSTITUTO DE LA SALUD CARLOS III. *Efectos extra-auditivos del ruido, salud, calidad de vida y rendimiento en el trabajo; actuación en vigilancia de la salud* [en línea]. Madrid: Escuela Nacional de Medicina en el Trabajo. 2019 [consulta: 03 febrero 2019]. Disponible en: http://www.isciii.es/ISCIII/es/contenidos/fd-publicaciones-isciii/fd-documentos/Efectos_extra_auditivos_del_ruido.pdf

[81] MACROBALEROS S.A. DE C.V. *Detector de fugas con ultrasonido* [en línea]. 2019 [consulta: 03 febrero 2019]. <http://www.macrobaleros.com/skf-tmsu1-detector-de-fugas-con-ultrasonido>

[82] CYPE INGENIEROS, S.A.. *Generador de Precios*. 2019 [consulta: 12 febrero 2019]. Disponible en: <http://www.generadordeprecios.info/>

[83] GRUPO PRILUX. *ZAMORA H.M. 400W GR E40 CR* [en línea]. 2019 [consulta: 23 enero 2019]. Disponible en: <http://www.grupoprilux.com/es/ver-producto/iluminacion/prilux-industrial-interior/descarga/83379/zamora-h-m-400w-gr-e40-cr/>

[84] MATMAX. *Pantalla estanca con difusor de policarbonato 2x58W alto factor emergencia* [en línea]. 2019 [consulta: 23 enero 2019]. Disponible en: <https://www.matmax.es/articulos/arlus/pepo258rebemaf/ptetca-c-df-polic-2x58w-af-emerg/1180003035>

[85] PLANTASUR.COM. *Diferencias entre balasto electrónico y electromagnético* [en línea]. 2016 [consulta: 23 enero 2019]. Disponible en: <http://plantasur.com/es/noticias/diferencias-entre-balastro-electronico-y-electromagnetico>

[86] SECOM. *ECODUT HQI/VSAP Luminaria Vial* [en línea]. 2019 [consulta: 23 enero 2019]. Disponible en: <http://www.secom.es/catalogo/sistemas-iluminacion-urbana/ecodut-hqivsap-iluminacion-vial/>

[87] ENERFIGENTE. *Pros y contras de las distintas tecnologías de lámparas* [en línea]. 2015 [consulta: 24 enero 2019]. Disponible en: <https://enerfigente.wordpress.com/2015/09/17/pros-y-contras-de-las-distintas-tecnologias-de-lamparas/>

[88] *Soluciones de iluminación convencional y LED*. PHILIPS LIGHTING. 2019 [consulta: 24 enero 2019]. Disponible en: <http://www.lighting.philips.es/inicio>

[89] GOOGLE MAPS. 2018 [consulta: 09 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/@43.4491585,-3.8146536,15z>

[90] ATERSA. *Paneles solares fotovoltaicos* [en línea]. 2018 [consulta: 10 noviembre 2018]. Disponible en: <https://atersa.shop/paneles-solares->

fotovoltaicos?gclid=Cj0KCQjws5HIBRDIARIsAOomqA02A4aXlt75H1BfDpt6MDomGmeyMBfj0w3pThUMXE1YTVkEwIXvsaAgWzEALw_wcB

[91] *Datos de radiación solar de España*. ADRASE. 2018 [consulta: 10 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.adrase.com/>

[92] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* [en línea]. Madrid: IDAE. 2009 [consulta: 10 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_082ee24a.pdf

[93] *Irradiación solar anual*. SUNFIELDS EUROPE. 2018 [consulta: 11 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.sfe-solar.com/>